Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. E. Harndt

Untersuchung der Härte getragener Amalgamfüllungen und Darstellung von Verarbeitungsfehlern.

INAUGURAL - Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Kurt Winkler
aus Gera

1966

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. E. Harndt

Untersuchung der Härte getragener Amalgamfüllungen und Darstellung von Verarbeitungsfehlern.

INAUGURAL - Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Kurt W i n k l e r
aus Gera

Dekan: Professor Dr.med. Wilhelm M a s s h o f f

Referent: Priv.-Doz. Dr.med.dent. Karl E i c h n e r

Korreferent: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald H a r n d t

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 27. Juni 1966

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535704_0064

Gliederung

	Seite
I. Einleitung	2 - 3
II. Literaturübersicht	4 - 8
III. Wissenswertes über Amalgame	9 - 17
IV. Vorbereitung der amalgamgefüllten Zähne für die Untersuchungen	18 - 19
V. Härtemessungen	20 - 36
a) Auswahl der Prüfmethode	20 - 26
b) Das Prüfgerät	27 - 28
c) Vorversuche	28 - 31
d) Hauptversuche und Ergebnisse	32 - 36
VI. Darstellung von Fehlerquellen an getragenen Amalgamfüllungen	37 - 60
a) Klinische Forderungen an Amalgamfüllungen	
b) Fehler an getragenen Amalgamfüllungen	
1. Unsachgemäße Präparation	
Ungenügende Verankerung	
Spaltbildung an den Rändern	
Legen von Füllung in Füllung	
Sekundärkaries	
2. Fehlerhafte Anwendung von Hilfsmitteln	
Matrize	
Unterfüllung	
3. Fehler beim Stopfen	
Kondensation	
Füllung und Kavitätenrand	
VII. Diskussion	61 - 65
VIII. Zusammenfassung	66
IX. Literaturverzeichnis	67 - 71
X. Meßwerte	

I. Einleitung

Das Amalgam als Füllungswerkstoff der Zähne wird im Prämolaren- und Molarengebiet allgemein anerkannt und vorwiegend benutzt.

Diese Meinung wird auch in Arbeiten der letzten Jahre, z. B. von E i n f e l d t (7), S c h o c h und L o e b i c h (38), sowie S c h m i t t (37) vertreten. Die Vorteile des Amalgams liegen in der Härte, die der Kaukraft widersteht und der relativ einfachen klinischen Anwendung.

R h e i n w a l d (33) erkannte, dass Amalgame unter normalen Verhältnissen auf Grund ihrer Stellung in der Spannungsreihe von den in der Mundhöhle vorhandenen Lösungs- und Oxydationsmitteln nicht angegriffen werden können, vorausgesetzt, dass sie eine einwandfreie homogene, kristalline Struktur besitzen, also werkstoffgerecht verarbeitet worden sind.

Die genannten Vorzüge werden aber häufig bei der Betrachtung von wenige Jahre alten Amalgamfüllungen getrübt. Die ehemals silbrig aussehende Füllung ist grau, bisweilen schwarz geworden. Oftmals ragt sie aus dem Zahnniveau heraus, oder zwischen Füllung und Kavitätenrand klafft ein Spalt.

Diese Mängel waren und sind heute noch Anlass zu zahlreichen Untersuchungen, die die Verbesserung der Amalgame, ihrer Verarbeitungsweise und ihre Widerstandsfähigkeit im Munde zum Ziele haben.

Verschiedene Forschungen brachten das Ergebnis, nur noch Amalgamfeilungen zu verwenden, deren Silbergehalt über 65 % liegt, denn diese werden härter und haben eine grössere Erhärtungsgeschwindigkeit. Sie sollen auch die Farb- und Mundbeständigkeit verbessern. In Hinsicht auf die Korrosion ermutigen W a g n e r s (44) Arbeiten dazu, hochprozentige Amalgame zu verarbeiten.

Auch F i s c h e r , M e r t e n s m e i e r und

M o r d a s s (11) konnten beobachten, daß die Oberflächen niedrigprozentiger, im Munde getragener Amalgame schon nach Ablauf von zwei Jahren deutliche Veränderungen zeigen. Füllungen aus hochprozentiger Feilung schienen widerstandsfähiger.

O v e r d i e k (28), E i n f e l d t (7), H a u b e i l (16) und F i s c h e r (10) beschäftigten sich mit Fragen der Verbesserung der Amalgamfüllung. Sie kamen zu folgendem Schluß: Ist eine physikalisch-chemisch und mechanisch optimale Zinn-Silber-Feilung verwendet worden, so ist die Ursache von Misserfolgen bei Amalgamfüllungen in einer nachlässigen oder unkundigen Verarbeitung zu suchen.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Ergebnisse von Untersuchungen an getragenen Amalgamfüllungen zusammengestellt werden. Es werden sich so am ehesten die häufigsten klinischen Verarbeitungsfehler erkennen lassen. Härtemessungen sollen neben der mikroskopischen Untersuchung zur Beurteilung der klinischen Verwendung herangezogen werden.

II. Literaturübersicht

Die Literatur über Amalgame und Amalgamfüllungen ist umfangreich. Nur die zum Thema gehörenden wesentlichen Veröffentlichungen der letzten Jahre, in denen 65 %ige Silberamalganfeilungen beschrieben wurden, sollen berücksichtigt werden.

R o p e r (36) stellte in amerikanischer Sicht 1947 bei umfangreichen Untersuchungen an Füllungen fest, daß Silberamalgam richtig verarbeitet und angewandt, vollauf die Goldeinlagefüllung ersetzen kann.

Auch F l a s c h e n t r e h e r (12) hat beobachtet, daß Amalgamfüllungen amerikanischer Patienten besonders günstige Ergebnisse zeigten. Damit will er zum Ausdruck bringen, daß die amerikanische Zahnmedizin auf diesem schwierigen Gebiete schon weiter vorangekommen ist als wir.

F i s c h e r (10) schließt sich dieser Meinung an, denn er hat Amalgamfüllungen gesehen, die durchaus den Vergleich mit Goldeinlagefüllungen aushalten.

1953 lobt auch D r u m (4) die außerordentlich bequem zu verarbeitenden Amalgame. Selbst bei nachlässiger Verarbeitung würden sie eine Zeitlang ihren Dienst tun. Dabei schränkte er aber ein, daß solche Füllungen früher oder später zur weiteren Zerstörung des Zahnes führen. Die Meinung, daß ein Inlay besser als eine Amalgamfüllung sei, führt er darauf zurück, daß man sich bei einer Gußfüllung von vornherein mehr Mühe geben würde, deshalb auch weniger Mißerfolge zu verzeichnen hätte. Er erkannte richtig, daß sich schon die Mühe lohne, alle Schwierigkeiten bei der Herstellung einer Amalgamfüllung zu überwinden, denn Amalgamfüllungen könnten selbst nach 10 Jahren noch wie eine Platingußfüllung aussehen.

Diesen günstigen Angaben stehen die vielen negativen Kritiken anderer Autoren gegenüber. G r e t h (13) hat 1938 schon daraufhingewiesen, daß viele Fehlermöglichkeiten beim Amalgam liegen und hat korrekte Arbeitsweise vom Behandler gefordert.

1955 schrieb Rheinwald (38) : "Es gibt in der Zahnheilkunde kein Material, bei dem soviel Verarbeitungsvariationen und -fehler möglich sind wie bei den Amalgamen".

1956 führt Hagedorn (14) dazu aus; "Amalgam ist gegenüber unsachgemäßer Handhabung äußerst empfindlich. Es ist eine Tatsache, daß die meisten Mißerfolge beim Legen von Amalgamfüllungen dem Zahnarzt zur Last gelegt werden können".

Lichtenberg (24) hat 1950 röntgenologisch approximale Amalgamfüllungen im Munde untersucht und dabei festgestellt, daß der größte Prozentsatz schlecht ist. Er fand bei einer Untersuchung von 4012 approximalen Amalgamfüllungen 1484 oder 37 % gute Füllungen und 2528 oder 63 % schlechte Füllungen.

1939 untersuchte Staufenberg (43) 519 Amalgamfüllungen der Klasse II nach Black röntgenologisch und stellte 38,5 % Füllungen mit gutem Randschluß und einwandfreiem Kontakt mit den Nachbarzähnen fest. 61,5 % der Füllungen genügten den an sie gestellten Anforderungen nicht.

Fischer (10) 1955 und Einfeldt (7) untersuchten die Frage der Verbesserung der Amalgamfüllung und gestehen damit, daß Amalgame als Füllungsmittel noch nicht voll befriedigen.

Overdiek (28) beschäftigte sich 1962 mit fehlerhaften Amalgamfüllungen und Ursachen der Fehler. Bei rein makroskopischer Betrachtung konnte er an ehemals von Mängeln freien Füllungen schon nach Ablauf von wenigen Monaten Spaltbildung mit Rand- und Oberflächenkorrosionen sehen.

Die Ursachen dieser schlechten Ergebnisse bei getragenen Amalgamfüllungen sind Korrosion, falsche Verarbeitung, Dimensionsänderungen und mangelnde Sorgfalt des Behandlers bei der Applikation und Präparation der Füllung.

Im Jahre 1934 wurden in Amerika vom National Bureau of Standards in der Spezifikation Nr. 1 Forderungen an das Amalgam

aufgestellt, die eine minimale Gleichmäßigkeit und Güte garantieren sollen. Sie sind heute von Herstellern und Zahnärzten allgemein anerkannte Richtlinien.

1958 beschäftigte sich D o c k i n g (3) mit Kritiken an der ADA-Spezifikation Nr. 1 und stellte dazu fest, daß viele Kritiken als unberechtigt angesehen werden müssen. Die Kritiken bezogen sich besonders auf nicht meßbare Teste über Amalgamierungszeit, Plastizitätsdauer und Modellierbarkeit. D o c k i n g weißt alle Kritik zurück, da noch niemand nachgewiesen habe, daß ein mit den amerikanischen Spezifikationen übereinstimmendes Amalgam im Munde zu unbefriedigenden Ergebnissen geführt hat. In einem Punkte sollten die Forderungen des NBS doch revidiert werden, nämlich in der Frage des Zinkgehaltes.

S k i n n e r (41) und P h i l l i p s (29) erkannten bei der Berührung zinkhaltiger Amalgame mit Feuchtigkeit beachtliche Expansionswerte, die mit Härteeinbußen einhergehen.

In Fragen der Korrosion konnte kein abschließendes Urteil von den einzelnen Autoren gefunden werden.

W a g n e r (44) hat 1962 durch Potentialmessungen die Frage zu klären versucht, ob hochprozentige Silberlegierungen niederprozentigen vorzuziehen seien. Er fand, daß seine Untersuchungen dazu ermutigen würden, "Amalgamlegierungen mit höherem Silbergenalt den silberärmeren vorzuziehen".

Z e i t z (40) erkannte 1960 bei seinen Untersuchungen auf diesem Gebiete die Ausbildung einer Deckschicht bei den Amalgamen, die ihr Potential edler werden läßt.

K e b e l (31) und R h e i n w a l d (33) untersuchten 1955 die Frage der Lokalelementbildung durch Amalgame in der Mundhöhle und kamen zu der Ansicht, daß eine nach den Vorschriften hergestellte Amalgamfüllung keine Schäden für ihren Träger verursachen könne.

Die Spaltbildung der Amalgame bildete den Kern umfangreicher Untersuchungen. L o e b i c h (26) kommt dabei 1951 zu der Erkenntnis, daß der beste Randschluß durch richtige

Stopftechnik erreicht werden kann, nämlich wenn die Oberfläche der gestopften Füllung 1 - 2 % weniger Quecksilber als pulpennahe Teile aufweist.

E i n f e l d t (7) erinnert an die Dimensionsveränderungen, die sich nicht immer in die gewünschte Richtung auswirken. Er bezeichnet die Nachteile der Kontraktion mit Spaltbildung und Fraktur der Schmelzprismen. Dadurch werden die Sekundärkariesbildung und verminderte Retention der Füllung hervorgerufen.

1951 hat schon I l g (19) auf die Änderung des Dimensionsverhaltens der Amalgame hingewiesen und bezeichnet Kontraktion und Expansion als Kardinaleigenschaft der Amalgame. Bei seinen Versuchen konnte er für die Erhärtung der Amalgame drei charakteristische Dimensionsänderungen nachweisen. Einer primären Kontraktion folgt eine Expansion. Dieser schließt sich eine unbedeutende Kontraktion an. Diese sekundäre Kontraktion ist jedoch wesentlich kleiner als die ihr vorausgehende Expansion. Daneben stellte er eine Abnahme der primären Kontraktion und eine Zunahme der Endexpansion mit steigendem Silbergehalt fest.

1954 konnten diese Erkenntnisse von F i c h t und F i s c h e r (8) bestätigt werden.

Die in der Praxis oft zu beobachtenden Randspalten sind auf nichtbeabsichtigte Dimensionsveränderungen im Sinne einer Kontraktion zurückzuführen und kennzeichnen einen Mißerfolg.

E i n f e l d t (7) beschrieb aber, daß Spaltbildung noch nicht eine Sekundärkaries hervorrufen muß. Dabei zitiert er P h i l l i p s und M c D o n a l d (30), die eine nicht unbedeutende bakteriostatische Wirkung der Amalgame beschrieben haben.

F i s c h e r , M e r t e n s m e i e r und M o r d a s s (11) konnten trotz korrosionsbedingter Randveränderungen keine Anzeichen von Sekundärkaries finden, wenn jedoch Zeichen einer neuen kariösen Läsion am Rande einer Füllung aufgetreten sind, konnte die Ursache immer mit einem

Fehler in der Kavitätenpräparation erklärt werden.

Die von G r e t h (13) 1938 beschriebene oligodynamische Wirkung der Kupferamalgame ist bei den Silber-Zinn-Amalgamen wesentlich geringer.

F i s c h e r (9), der nach dem Kriege durch viele Veröffentlichungen über Amalgame hervortrat, beschrieb 1954 den Einfluß des Verhältnisses Quecksilber : Feilung auf das Dimensionsverhalten. Quecksilberreiches Amalgam ergibt in der Kavität eine Expansion, während ein quecksilberarmes Gemisch eine Kontraktionsneigung erkennen läßt. Diese Erscheinungen sind auch durch Stopfdruckunterschiede zu erzeugen: ein hoher Stopfdruck fördert die Kontraktion wegen des sich ergebenden trockenen Amalgams. Geringer Stopfdruck erzeugt eine Expansion.

Diese Literaturhinweise zeigen, daß Amalgame nur optimale Eigenschaften bei korrekter Verarbeitung erhalten können. Fehler an Füllungen müssen dem Behandler zur Last gelegt werden. 1953 nennt H a u b e i l (16) aber die leichte Qualitätsbeeinflussung des empfindlichen Amalgams durch die Verarbeitungsweise einen Fehler des Werkstoffes.

III. Derzeitiger Stand der Amalgame und ihrer Verarbeitung

Amalgame sind die Verbindung von Quecksilber mit Metallen oder Metallegierungen. Bei den zahnärztlichen Amalgamen kann die Metallkomponente aus Spänen verschiedener Form und Größe bestehen. Mit ihnen gibt der Hersteller dem Amalgam gewisse Eigenschaften.

Die Amalgamfeilung besteht hauptsächlich aus Silber und Zinn. Ihre heutige Zusammensetzung ist etwa: 67 % Silber, 25 % Zinn, 6 % Kupfer. Die verbleibenden 2 % sind noch anderen Metallen vorbehalten.

Amalgam besteht aus drei Phasen, die mit γ, γ_1 und γ_2 bezeichnet werden. In der Silberzinnfeilung befindet sich Ag_3Sn und Sn. Die Zinnanteile bei den 50%igen Amalgamen sind größer als bei 70%igen Legierungen. Nachdem nun Feilung und Quecksilber angerieben worden sind, entstehen beim Erhärten des Amalgams zwei neue Phasen: die Silberphase (Ag_3Hg_4) und der Sn - Hg - Mischkristall (Sn_7Hg).

Nach L o e b i c h / N o w a c k (27) wird beim Amalgamieren Zinn immer ganz umgesetzt. Nichtamalgamiertes Ag_3Sn kann sich dagegen noch im fertigen Amalgam befinden, sodaß die fertige Amalgamfüllung drei Phasen enthält.

W i n t e r h a g e r (46) nannte während der Erhärtung die Gamma-1-Phase für die Expansion verantwortlich. Die Gamma-2-Phase bewirkt die Kontraktion. Deshalb sei das Dimensionsverhalten auch vom Silbergehalt abhängig.

L o e b i c h (5) und S c h m i t t (37) nennen für die Amalgamierung folgende Formel:

Feilung				Amalgam
7 Sn	+	Hg	=	Sn_7Hg
7 Ag_3Sn	+	29 Hg	=	7 Ag_3Hg_4 + Sn_7Hg

Die sich dabei ausbildenden Gefügebilder zeigen bei hochprozentigen Amalgamen ein deutliches Überwiegen der Silberphase (Ag_3Hg_4), während bei 50%igen die γ_2-Phase erheblich vermehrt ist.

Gefügebilder eines niederprozentigen und hochprozentigen Amalgams sind in Abb. 1, Abb. 2 und Abb. 3 zu sehen.

Abb. 1, 2 und 3 sind nach eigenen Präparaten im Labor der Firma Degussa/Pforzheim hergestellt worden.

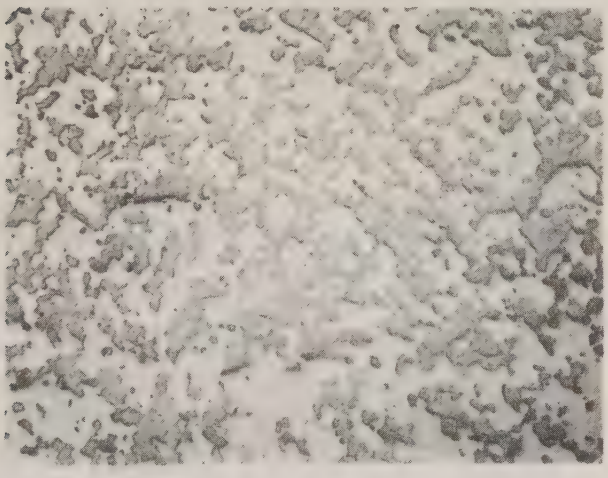


Abb. 1 Gefügebild eines Amalgams, das aus 50%iger Silber-Zinn-Feilung hergestellt wurde. Vergr. 150 mal

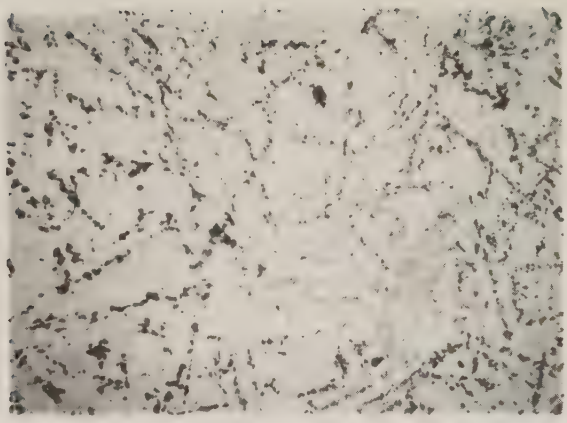


Abb. 2 Gefügebild eines Amalgams, das aus 65% Silber-Zinn-Feilung hergestellt wurde. Vergr. 300 mal.

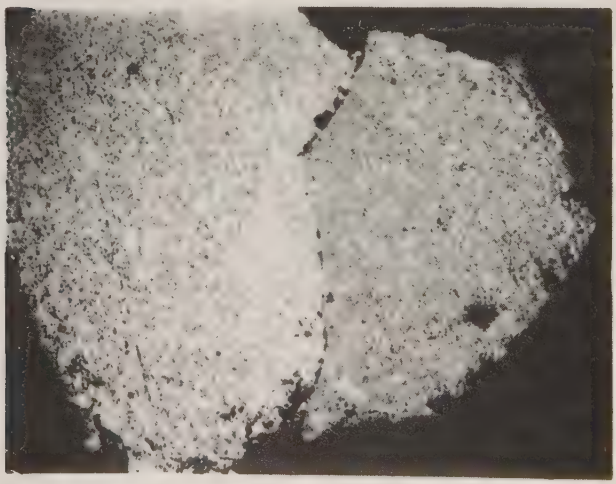


Abb. 3 Hoch- und niederprozentiges Silber-Amalgam in einer Füllung. Vergr. 30 mal.

Für den zahnärztlichen Gebrauch können Amalgame mit einem Silbergehalt zwischen 50 - 70 % benutzt werden, die ADA-Spezifikation empfiehlt jedoch, nur noch 65%ige Amalgame zu verwenden. Vom Silbergehalt hängen Härte und Erhärtungsgeschwindigkeit ab. Silberreiche Amalgame erhärten schneller. Neben der Abhängigkeit vom Silbergehalt hängt die Erhärtungsgeschwindigkeit der Amalgame in nicht unwesentlichem Maße vom Alter der Feilung ab. Amalgamfeilung zeigt die Eigenschaft des Alterns. Es tritt eine Verlängerung der Erhärtungsgeschwindigkeit mit steigendem Alter ein. Frische Feilung nimmt Quecksilber schneller auf und erhärtet deshalb in kürzerer Zeit, während ältere, gelagerte Amalgame längerer Abbindungszeiten bedürfen. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wird die Amalgamfeilung von den Herstellern künstlich gealtert. Danach schreitet dieser Vorgang nur sehr langsam fort. Je längere Zeit eine Feilung lagert, desto längere Zeit braucht das Amalgam zum Erhärten. Deshalb gehen die Forderungen von S t a r k l o f f (42), R e b e l (32), E i n f e l d t (7) u.a. darauf hinaus, Amalgamfeilungen nicht länger als 1 Jahr zu lagern.

Amalgamfeilungen werden aktiviert, das heißt, in einer Quecksilber-Chlorid-Lösung gewaschen. Dadurch wird beim Anmischen die Benetzung der Feilspäne mit Quecksilber beschleunigt, das Amalgam wird früher klinisch verarbeitungsfähig.

Bisher war in Amalgamen regelmäßig eine geringe Menge Zink enthalten. Heute legt man jedoch Wert darauf, vom Hersteller zinkfreie Feilung zu erhalten. Kupferzusätze bewirken bei der Aushärtung die richtige und gewünschte Expansionserhöhung. Gold- und Platinzusätze, die von den ADA-Spezifikationen nicht als Verunreinigung angesehen werden, werden der Legierung jedoch in der Regel nicht mehr beigegeben.

Die zweite Komponente, das Quecksilber, erstarrt bei minus 39° C und siedet bei 357° C. Schon bei gewöhnlicher Zimmertemperatur ist es flüchtig.

Nach R e m y (34) sind die dabei entstehenden Dämpfe sehr giftig. Da die Giftigkeit von Quecksilberdämpfen seit

langem bekannt ist, wurde häufig vor Schädigungen beim Träger solcher Füllungen und beim Personal zahnärztlicher Praxen mit hoher Amalgamfüllungsfrequenz gewarnt. Dazu wurde festgestellt, daß Quecksilberintoxikationen vorkommen können, wenn freies Quecksilber vorhanden ist.

Diese Sorgen sind unbegründet. In Silberamalgamen ist nach W e i k a r t (45) bei richtiger Zusammensetzung kein freies Quecksilber mehr enthalten und verfügbar.

B o e n i g - K e i b e l (1) ermittelte durch Verwendung von Hg^{203} zur Untersuchung der Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen, daß Quecksilber nur gering vom Magendarmtrackt resorbiert wird. Von Nieren und Leber wird es gespeichert. Dabei sei die Konzentration des Quecksilbers in den Organen jedoch gering und bewirkt keine Schädigung.

Auch in zahnärztlichen Praxen ist man nach K r o p p (23) durch häufiges Lüften der Arbeitsräume und sachgemäßes Aufbewahren der Amalgamreste in verschlossenen Dosen oder unter Wasser von der Gefahr gesundheitlicher Schäden geschützt. Der MAK-Wert wird nur dann annähernd erreicht, wenn noch Kupferamalgam verwendet wird, das vor Gebrauch erwärmt wird. Bei diesem Arbeitsgang verdampft Quecksilber stark.

Vom Quecksilber für Amalgame wird ein hoher Reinheitsgrad verlangt. In Deutschland wird gewöhnlich das DAB 6 verwendet, das heißt, ein nach Mindestforderungen des Deutschen Arzneimittelbuches VI aus dem Jahre 1926 hergestelltes Quecksilber.

Für das Gelingen einer Füllung ist das Dimensionsverhalten des Amalgams von entscheidender Bedeutung. Man verlangt eine Expansion nach dem Aushärten. Das Dimensionsverhalten der Amalgame ist jedoch leicht durch verschiedene Faktoren zu beeinflussen, zum Beispiel :

1) Veränderung des vorgeschriebenen Verhältnisses Feilung zu Quecksilber

2) Verreibungszeit

3) Stopfdruck

4) Berührung mit Feuchtigkeit

Bei einer geschätzten Dosierung wird es nämlich nur selten gelingen, das richtige Verhältnis von Quecksilber zur Feilung zu treffen. In den meisten Fällen wird nach dem Triturieren das vermeintlich überschüssige Quecksilber abgepreßt, was aber falsch ist. Um alle Feilungsspäne mit Quecksilber in Berührung zu bringen, ist zunächst viel Quecksilber notwendig. Die Berührung oder das Kneten mit der Hand sollte jedoch vermieden werden.

Das Bestreben, die Unsicherheitsfaktoren auszumerzen, die vom Zahnarzt, der Helferin und ihren späteren Arbeitsweisen abhängig sind, führte zur Konstruktion von Dosier- und Mischapparaten, zum Beispiel dem Dentomaten der Firma Degussa Abb. 4.

Der besondere Vorzug dieses Geräts liegt darin, daß neben maschineller Dosierung noch die Zeit der Anmischdauer für die günstigste Dimensionsgestaltung eingestellt werden kann. Die Bedeutung der Anmischzeit wurde durch I l g (20) herausgestellt. Eine verlängerte Anmischzeit ergibt ein weniger stark expandierendes Amalgam. Von der Dauer der Anmischung hängen noch der Erhärtungsbeginn und die Verarbeitungsbreite der Amalgame ab. Eine zu kurze Dauer der Triturierungszeit ergibt kein homogenes Gefüge; ein zu langes Anmischen verkürzt die Dauer der Verarbeitbarkeit.

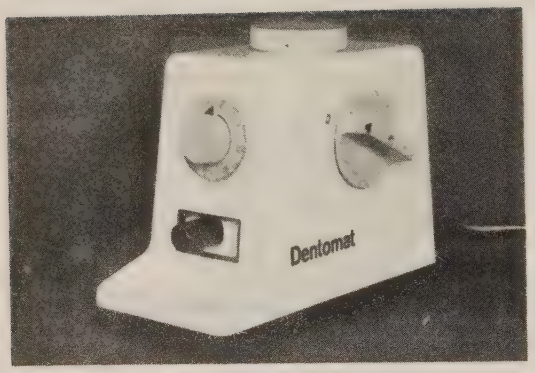


Abb. 4 zeigt den Dentomat, früher Nonzincomat genannt.

Neuere Untersuchungen haben auch gezeigt, daß sich die Amalgame unterschiedlich nach maschinellem Anmischen verhalten, sodaß auf die Angaben der Firmen sehr geachtet werden muß.

Aus Degussabrief "neue Folge Nr. 31" kann beispielsweise folgende Tabelle entnommen werden, die den Einfluß der Mischdauer auf die Verarbeitungsbreite von Standalloy darstellt.

Tabelle I

Mischdauer in Sek.	Erhärtungsbeginn nach	Ende der Verarbeitbarkeit
30	7 - 9 Minuten	13 - 15 Minuten
40	5 - 7 Minuten	10 - 12 Minuten
50	2 - 3 Minuten	6 - 7 Minuten
60	1 - 2 Minuten	4 - 5 Minuten
120	sofort	1 Minute

Der Stopfdruck wirkt sich bei starker Kondensation aufgrund der großen Quecksilberabpressung kontrahierend und bei geringem Druck expandierend aus. Hinzu kommt, daß die Berührung des noch plastischen Amalgams mit Feuchtigkeit nach H a g e d o r n (14) und O v e r d i e k (28) zu einer nicht beabsichtigten Spätexpansion führt. Um diese unerwünschten Dimensionsänderungen auszuschließen, dürfte das Nacharbeiten der noch plastischen Füllung und die Politur nach 24 Stunden wichtig sein.

Aber selbst, wenn die Dosierungsvorschriften streng befolgt werden, sind noch Verarbeitungsfehler anderer Art möglich. Es ist bekannt, daß sich in einem Pulvergemisch schwerere Teile im Laufe des Transportes nach unten absetzen. Daher besteht die Gefahr der Entmischung der Feilung. Man kann dadurch zu trockene oder zu feuchte Mischungen erhalten, ohne daß ersichtliche Dosierungsfehler vorliegen. Um diesen Fehler auszuschalten, brachten verschiedene Hersteller Tablettenamalgame auf den Markt.

Diese Ausführungen sollten aufzeigen, dass die Herstellung von Amalgamfeilungen und ihre Verarbeitung mit Quecksilber zur Amalgamfüllung eine grosse Zahl von Fehlerquellen enthält. Amalgam ist durchaus nicht "leicht" zu verarbeiten, sondern erfordert gewissenhafte Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften. Die Industrie hat ihren Teil dazu beigetragen, um das Amalgam zu verbessern, sowie seine Verarbeitung zu vereinfachen und sicherer zu gestalten.

IV. Vorbereitung der amalgamgefüllten Zähne für die Untersuchungen.

Die für die Untersuchungen benötigten amalgamgefüllten Zähne entstammen einer Berliner zahnärztlichen Kassenpraxis und der Zahnstation in der Haftanstalt Berlin-Moabit.

Herangezogen werden konnten nur Amalgamfüllungen, von denen der Zeitpunkt ihrer Applikation und der Tag der Extraktion des gefüllten Zahnes bekannt waren. Andere Faktoren, zum Beispiel das verwendete Amalgam, die Art der Verarbeitung, sowie die Art der Bearbeitung der Füllung ließen sich rückwirkend natürlich nicht feststellen, wenn Füllungen mit langer Liegedauer berücksichtigt werden sollen.

Nachdem ein Zahn mit Füllung extrahiert worden war, wurde er bis zur weiteren Verwendung in destilliertem Wasser aufbewahrt. Dann wurde er mit einer Nylonscheibe geteilt und die Füllung in einem zweiten Arbeitsgang zersägt. Um Wärmeeinwirkungen größeren Ausmaßes auf das Amalgam zu verhindern, erfolgte die Teilung aller Zähne unter steter Wasserkühlung.

Das Amalgam mußte vor starker Erhitzung bewahrt werden, um irreversible Gefügeveränderungen zu vermeiden.

Nach S c h m i t t (37) ändert sich das Gefüge des Amalgams bei einer Erwärmung bis 57° C nicht; bei 62° C wurden Bereiche der Gamma-2-Phase des Amalgams breiter und unscharf. Bei 78° C schmolz das Amalgam partiell und Quecksilber trat aus.

Die geteilten Zähne wurden dann in Technovit eingebettet, um sie zu fixieren. Technovit ist ein schnellhärtender Kunststoff der Firma Kulzer für technische Zwecke. Dabei entstanden kleine, runde Blöcke von grüner Farbe, deren Durchmesser ca. 25 mm und deren Höhe ca. 10 mm betrug. Diese Proben wurden dann unter steter Wasserkühlung an ihrer Oberfläche plangeschliffen und anschließend auf einer Schwabbelscheibe mit Schlämmkreide poliert. Abb. 5 zeigt zwei solcher Blöcke.

Die Aufbewahrung der Modelle erfolgte wiederum in Aqua destil-

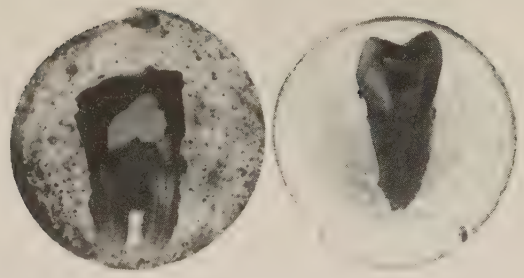


Abb. 5 In Kunststoff fixierte, zerschnittene, amalgamgefüllte Zähne.

lata. Dort korrodierten die Oberflächen der polierten Amalgamfüllungen sehr schnell, sodaß sich als notwendig erwies, vor photographischen Aufnahmen oder Härteprüfungen noch einmal zu polieren.

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Mikrohärtemessungen stellte sich heraus, daß auch die der polierten Seite gegenüberliegende Fläche plangeschliffen sein muß. Nur wenn die Proben direkt und ohne Plastilinzwischenlager auf der Unterlage aufliegen, können mit der Vickers-Härtebestimmung reelle Werte von Amalgamfüllungen erzielt werden.

Das Plastilinzwischenlager wurde bei den M i k r o h ä r t e m e s s u n g e n benutzt, um die zu prüfende Amalgamfüllung parallel zu ihrer Unterlage zu drücken. Dabei gefundene Härtewerte waren nicht zu gebrauchen, worauf später noch eingegangen wird.

V. Härtemessungen

Nach W e i k a r t (45) versteht man unter Härte den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren, entgegensetzt.

Der Härtewert erlaubt Rückschlüsse auf Bearbeitbarkeit und Verschleissfestigkeit von Werkstoffen.

Va. Auswahl der Prüfmethode

Für Härtemessungen an Metallen hat sich die Vickers-Methode eingeführt. Bei diesem Verfahren wird eine Diamantpyramide in das zu prüfende Objekt mit einer bestimmten Last eingedrückt. Dabei ergibt sich ein quadratischer Eindruck, dessen Diagonalen ausgemessen werden. Aus dem Mittelwert der beiden Diagonalen kann die Härte mit nachfolgender Formel errechnet werden:

$$H_V = \frac{1{,}854 \cdot p}{d^2} \quad kg/mm^2$$

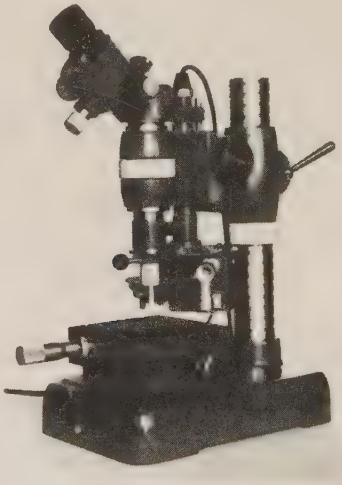
H_V = Vickershärte in kg/mm^2
p = Prüflast in Gramm
d = Mittelwert der Eindruckdiagonalen in μ

Mit dem D u r i m e t - Mikrohärteprüfer der Firma Leitz/ Wetzlar wurden alle Füllungen auf ihre Härte geprüft. Der Kleinhärteprüfer besteht aus dem Stativ, dem Mikroskoptubus mit Feinmessokular, sowie der Härteprüfeinrichtung mit dem Diamanthalter. Die Feineinstellung geschieht an einem in der Mitte des Tubus befindlichen Rändelring. Als Lichtquelle dient eine Glühbirne von 8 Volt und 0,6 Ampere, die unter Vorschaltung eines extra dafür bestimmten Transformators an das Stromnetz angeschlossen wird. Das Ausmessen der Härteeindrücke erfolgt mit grosser Genauigkeit durch das Feinmessokular mittels eines Fadenkreuzes und einer Skala.

Arbeitsweise des D u r i m e t :

Zunächst wird eines der Gewichte (25, 50, 100, 200 und 300 g) aufgelegt. Die Prüfkraft des Hebels allein beträgt 15 g. Zum Aufsuchen einer für den Eindruck bestimmten Stelle im Prüfobjekt dient das Objekt mit zehnfacher Vergrößerung. Die Verschiebung des Prüfkörpers erfolgt durch Betätigung der Feinmeßspindeln für die Kreuzbewegungen des Meßtisches. Anschließend wird das Objektiv 40 x benutzt.

Abb. 6 zeigt das Mikrohärteprüfgerät D u r i m e t



Nach Scharfstellung der Objektoberfläche wird das Feinmeß-Okular auf "0" gestellt und die zur Erzeugung des Prüfeindruckes bestimmte Härteprüfeinrichtung mit dem Vickers - Diamanten eingestellt. Danach wird der Drahtauslöser bedient. Das damit freigegebene Federwerk setzt den Eindringdiamanten langsam auf das Objekt auf. Nach einer Belastungszeit von ca. 10 Sekunden wird der Eindringkörper durch Rechtsdrehen des Rändelknopfes abgehoben, wodurch die Ablaufvorrichtung automatisch wieder gespannt wird. Dann wird das Objektiv 40 x eingestellt und die Diagonalen ausgemessen. Mit dem

Mittelwert der beiden Diagonalen kann aus Tabellen die Härte abgelesen oder durch obenangegebene Formel errechnet werden.

Abb. 7 zeigt schematisch die Härtemessung. Die in Punkt 3) bezeichnete Plastilinzwischenlage wurde zum Paralleldrücken der Objektoberfläche benutzt. Eine Plastilinzwischenlage bei Härteprüfungen zu benutzen ist nicht richtig, denn diese gibt auf Druck nach. Dadurch weicht das Prüfobjekt dem Prüfdruck aus und ein größerer Härtewert ist die Folge. Reelle Werte sind nur zu erhalten, wenn die Probeblöcke planparallel geschliffen werden und direkt auf der Prüfunterlage aufliegen.

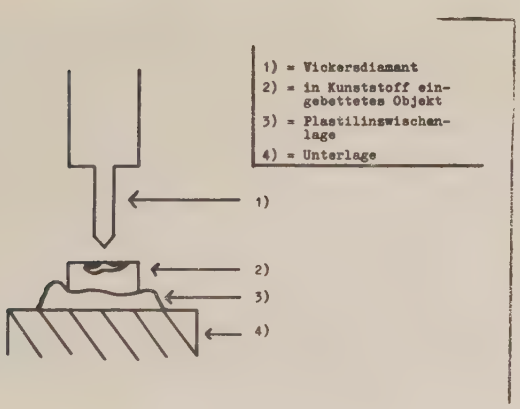


Abb. 7 zeigt den Vorgang des Versuches bei der Härteprüfung und die Lage des Prüfdiamanten zum Prüfobjekt.

An den 100 gesammelten Füllungen wurden insgesamt 2729 Härteprüfungen unter 25 g Last vorgenommen, pro Füllung ca. 27 Härtemessungen durchgeführt.

In Tabelle II sind die Ergebnisse dieser Messungen zusammengestellt, dabei hoch- und niederprozentige Amalgame unterschieden, was aus der polierten Oberfläche leicht zu erkennen ist.

Tabelle II :

Hochprozentige Amalgame

Zahl der geprüften Füllungen		Härtewert in kg/mm^2
F_1 - central	17	142,19
F_1 - Pal u. bucc	7	128,75
F_2 -	54	129,74
F_3 -	9	123,99

Niederprozentige Amalgame

Zahl der geprüften Füllungen		Härtewert in kg/mm^2
F_1 - central	6	76,65
F_1 - Pal u. bucc	3	65,24
F_2	4	59,77

Diese Werte müssen jedoch sehr kritisch betrachtet werden. Sie liegen in ihrer Härte fast doppelt so hoch wie die für Amalgame anzunehmenden Härtewerte.

L o e b i c h (5) fand zum Beispiel eine Brinellhärte der Amalgame von 40 - 70 kg/mm^2, gemessen an Amalgamen mit verschiedenem Silbergehalt.

K i s s (22) ermittelte eine Endhärte bei Amalgamen mit hohem Silbergehalt von 70 - 90 kg/mm^2. Die Unterschiede waren also ganz erheblich. Auffällig war nebenbei noch die große Streuung der durch die Mikrohärtemessungen ermittelten Werte. Die Ursache dieser hohen Meßergebnisse ist neben der

Nachgiebigkeit des Plastilinzwischenlagers noch in der Struktur der Amalgame zu suchen.

Nach S c h m i t t (37) setzt sich ein Gefüge aus nebeneinanderliegenden Metallkristallen zusammen, die dieselbe oder eine verschiedene chemische Zusammensetzung haben. "Alle Kristalle derselben Zusammensetzung werden unter dem Begriff einer Phase zusammengefasst".

Werden in einem heterogenen Gefüge, wie es für das Amalgam typisch ist. Mikrohärtemessungen mit geringen Belastungen durchgeführt, so bekommt man die Härtewerte der einzelnen Gefügebestandteile.

K i s s (22) spricht von Partialeindrücken.

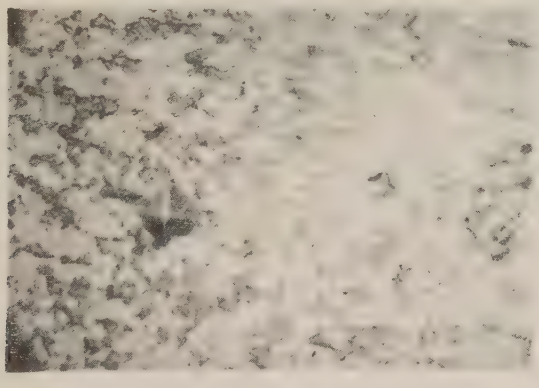


Abb. 8 Zwei Mikrohärteeindrücke in verschiedenen Phasen mit gleicher Belastung durchgeführt. Vergr. 300 mal.

Abb. 8 wurde von der Firma Degussa/Pforzheim freundlichst zur Verfügung gestellt.

Abb. 8 zeigt zwei Mikrohärteeindrücke. Der kleinere befindet sich in der härteren Silberphase. Der große liegt im Zinn-Quecksilber-Mischkristall. Beide Eindrücke wurden mit der gleichen Belastung von 11,2 g durchgeführt.

Wird mit kleiner Last (ca. 25 g) häufig in der harten Silberphase (Ag_3Hg_4) gemessen, so erhält man eine größere Durchschnittshärte, als wenn viele Messungen in der Gamma-2-Phase durchgeführt werden. Durch das Überwiegen der harten Silberphase bei den 70%igen Amalgamen werden sich zwangsläufig mehr härtere Werte ergeben.

Prüft man eine Füllung mit geringer Belastung 30 mal, so ergeben sich erhebliche Unterschiede in den einzelnen Härtewerten. Die große Streuung deutet auf Messungen in verschiedenen Phasen hin.

Eine Streuung der Meßwerte stellte auch schon H a n s e n (15) fest und fand bei Mikrohärteprüfungen keine systematische Abhängigkeit der Härte von der Belastung. Auch in Hinsicht auf die Porositäten der klinischen Amalgamfüllungen erscheint eine Mikrohärtemessung mit kleinen Lasten nicht empfehlenswert.

Nach diesen Vorbehalten erschien es ratsam, die Mikrohärtemessungen zur Bestimmung der Härte von Amalgamen zu verwerfen.

Es ist daher sinnvoll, die Härtemessungen mit größeren Vickerspyramiden und größeren Belastungen durchzuführen. Man erhält einen Summationsabdruck über mehrere Phasen.

Abb. 9 zeigt einen Vickerseindruck mit einer Belastung von 2 kg. Er ergibt eine Härte von 76,6 kg/mm^2. Im Bilde rechts darüber befinden sich drei Vickers-Mikrohärteeindrücke, die alle in der Silberphase liegen. Sie ergeben, nach ihrer Größe geordnet, Härten von 186, 131 und 95,8 kg/mm^2.

Um weitere Fehlerquellen bei den Messungen auszuschließen, wurden die Probeblöcke jetzt auf ihre Unterlage direkt aufgelegt, indem sie vorher auf ihrer Unterseite plangeschlif-

fen wurden. Dabei ergaben sich Probeblöcke, bei denen Oberfläche und Unterseite parallel verliefen. Ob die Eigenelastizität des Kunststoffes einen Einfluß auf das Meßergebnis ausübt, mußte in Vorversuchen noch geklärt werden.

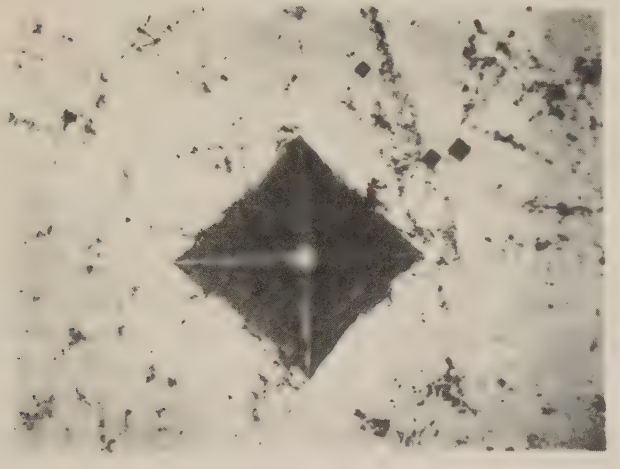


Abb. 9 Vergrößerung 50 mal

Abb. 9 ist nach eigenen Präparaten im Labor der Firma Degussa/Pforzheim hergestellt worden.

Vb. Das Prüfgerät

Die Härtewerte der Amalgamfüllungen wurden nun mit dem DIA TESTOR der Firma Wolpert/Ludwigshafen ermittelt. Mit dem DIA TESTOR kann die Härte von Eisen, Stahl und anderen Metallen nach

Brinell, DIN 50 351
Rockwell, DIN 51 103
Vickers, DIN 50 133

mit größeren Lasten gemessen werden.

Wegen ihrer Zuverlässigkeit und Genauigkeit ist die Prüfmethode nach V i c k e r s ausgewählt worden. Es sind Belastungen mit 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 62,5 und 125 kg möglich. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß die Belastung zwischen 1 und 125 kg beliebig gewählt und die Prüfkraftstufe jeweils dem Prüfobjekt im Hinblick auf dessen Proben- und Wanddicke sowie seiner Oberflächenbeschaffenheit und dem Gefüge angepaßt werden kann. Dabei ist zu beachten, daß ein mit geringer Belastung erzeugter Eindruck längere Zeit erfordert.

Die zur Messung benutzte Diamantpyramide hat einen Öffnungswinkel von 136°.

Arbeitsweise des DIA TESTORS:

Nachdem der Eindringkörper (bei Vickers-Methode die Diamantpyramide) eingesetzt worden ist, kann das auf den Prüftisch aufgelegte Probematerial durch Drehen des Handrades so weit hochgefahren werden, bis das vergrößerte Bild der Prüfoberfläche auf der Mattscheibe deutlich erscheint. Nun wird am Lastenwähler die erforderliche Belastung eingestellt. Durch Handhebel läßt sich der Eindringkörper senkrecht einschwenken und damit gleichzeitig die Belastung freigeben. Die Diamantpyramide senkt sich in der gewählten Zeit in die Prüfoberfläche ein. Nach dieser bestimmten Dauer hebt man den Eindringkörper aus dem soeben erzeugten Eindruck heraus. Damit richtet sich das Objektiv in die Stellung über dem Eindruck

und projiziert diesen vergrößert auf die Mattscheibe. Dort können die Diagonalen ausgemessen werden. Anschließend ist der Mittelwert aus beiden zu bestimmen.

Abb. 10 zeigt den DIA TESTOR.

Die Härtezahl nach Vickers wird dann, der Eindruckgröße entsprechend, aus Härtetabellen abgelesen oder nach der Formel:

$$H_V = \frac{1854 \cdot p}{d^2} \quad kg/mm^2$$

berechnet.

H_V = Vickershärte in kg/mm^2
p = Prüflast in kg
d = Mittelwert der Eindruckdiagonalen in mm

Vc. Vorversuche

In den Vorversuchen ging es um die Frage, mit welcher Belastung und mit welcher Zeit die Härteprüfungen am DIA TESTOR durchgeführt werden sollen. Dabei mußte gleichzeitig ermittelt werden, ob bei großen Belastungen eine elastische Verformung des Kunststoffes, in dem die amalgamgefüllten Zähne fixiert wurden, auftritt.

Kunststoff zeigt bei einem auf ihn gerichteten Druck eine elastische Verformung. Einem Druck versucht er auszuweichen, indem er fließt. Wird kein Druck mehr auf ihn ausgeübt, so nimmt er wieder nach und nach sein ursprüngliches Volumen ein.

Zur Wahl stand eine Belastung von 2 oder 5 kg. Sollte mit einer Belastungsdauer von 30 oder 60 Sekunden gemessen werden? Zur Klärung dieser Frage wurden Härtemessungen an 2 Probekörpern aus Standalloy, einem 68%igen Amalgam der Firma Degussa, vorgenommen. Beide Amalgamblöcke stellte die Firma Degussa unter Beachtung der Anmischvorschriften her. Ein Amalgamblock wurde in Kunststoff eingebettet und der andere direkt auf die

Abb. 10

Der DIA TESTOR

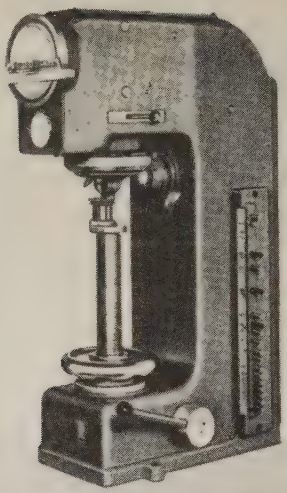
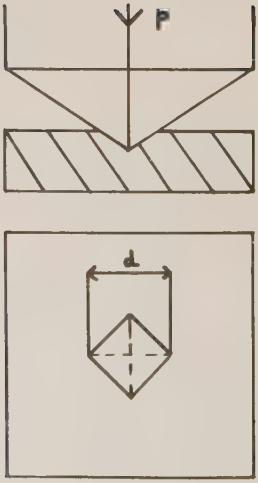


Abb. 11

Schematische Darstellung
eines Vickerseindruckes



Unterlage, den Prüftisch des DIA TESTORS, aufgesetzt. Die erhaltenen Werte waren vergleichbar und eine Aussage über die Eigenelastizität des Kunststoffes konnte getroffen werden.

Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, daß bei einer Belastung mit 2 und 5 kg keine elastische Verformung des Kunststoffes auftritt.

Tabelle III und IV zeigt Werte der Vorversuche.

Die Härtewerte bei einer Belastung mit 5 kg sind nicht erheblich kleiner als die bei 2 kg ermittelten.

Der Durchschnittshärtewert für Amalgamprobekörper der Vorversuche beträgt 77,4 kg/mm^2.

In den Hauptversuchen sollte nun mit einem Gewicht von 2 kg 30 Sekunden lang belastet werden, denn die in den Vorversuchen unter diesen Bedingungen ermittelten Härten waren sehr gleichmäßig.

Wäre eine Belastung von 5 kg gewählt worden, vergrößerte sich die Gefahr, daß aufgrund der unterschiedlichen, nicht bekannten Stärken der einzelnen Amalgamfüllungen durch die Füllung hindurch auch die Härte des Zahnes mitgemessen werden könnte. Die Möglichkeit von Meßungenauigkeiten ist dabei größer als bei 2 kg Belastung. Nebenbei sollte auch vermieden werden, daß einzelne Füllungen durch den großen Druck, der bei 5 kg auftritt, zerstört wurden.

In Tab. III sind Werte aufgeführt, wenn Amalgam direkt auf der Unterlage aufliegt.

5 kg bei 30 Sekunden

32,0 . 33,0 = 32,5 = 87,8
34,0 . 33,5 = 34,0 = 80,2
33,0 . 33,0 = 33,0 = 85,1
34,0 . 35,0 = 34,5 = 77,9
33,0 . 33,0 = 33,0 = 85,1
416,1

Durchschnittswert: 83,2

5 kg bei 60 Sekunden

34,0 . 34,0 = 34,0 = 80,2
36,5 . 37,0 = 37,0 = 67,7
34,0 . 35,0 = 34,5 = 77,9
35,0 . 35,0 = 35,0 = 75,7
35,0 . 34,5 = 35,0 = 75,7
377,2

Durchschnittswert: 75,4

2 kg bei 30 Sekunden

21,0 . 20,5 = 20,8 = 85,7
21,0 . 20,0 = 20,6 = 87,4
22,0 . 22,0 = 22,0 = 76,6
21,0 . 21,0 = 21,0 = 84,1
23,0 . 24,0 = 23,5 = 67,1
400,9

Durchschnittswert: 80,2

2 kg bei 60 Sekunden

23,0 . 23,0 = 23,0 = 70,1
21,0 . 21,5 = 21,4 = 81,0
21,5 . 20,5 = 21,0 = 84,1
22,0 . 22,0 = 22,0 = 76,6
21,0 . 21,0 = 21,0 = 84,1
395,9

Durchschnittswert: 79,2

In Tab. IV sind Werte aufgeführt, wenn Amalgam in Kunststoff eingebettet ist.

5 kg bei 30 Sekunden

35,0 . 35,0 = 35,0 = 75,7
37,5 . 37,5 = 37,5 = 65,9
33,0 . 34,0 = 33,5 = 82,6
34,0 . 33,5 = 34,0 = 80,2
34,0 . 34,0 = 34,0 = 80,2
384,6

Durchschnittswert: 76,9

5 kg bei 60 Sekunden

35,0 . 35,0 = 35,0 = 75,7
36,0 . 35,0 = 35,5 = 73,6
36,0 . 36,0 = 36,0 = 71,5
35,0 . 35,0 = 35,0 = 75,7
35,0 . 35,0 = 35,0 = 75,7
372,2

Durchschnittswert: 74,4

2 kg bei 30 Sekunden

21,0 . 22,0 = 21,6 = 79,5
21,5 . 22,0 = 21,8 = 78,0
21,5 . 21,5 = 21,5 = 79,5
22,0 . 22,0 = 22,0 = 76,6
22,0 . 21,0 = 21,6 = 79,5
393,1

Durchschnittswert: 78,6

2 kg bei 60 Sekunden

22,5 . 22,0 = 22,2 = 75,2
23,0 . 21,5 = 22,2 = 75,2
23,0 . 23,0 = 23,0 = 70,1
23,0 . 23,0 = 23,0 = 70,1
23,0 . 24,0 = 23,5 = 67,1
357,7

Durchschnittswert: 71,5

Vd. Hauptversuche und deren Ergebnisse

Bei gesammelten 99 Amalgamfüllungen wurden Härteprüfungen nach der Vickersmethode mit einer Belastung von 2 kg in 30 Sekunden am DIA TESTOR durchgeführt. Je nach Größe einer Füllung ließen sich unterschiedlich viele Eindrücke ausführen. Bei kleinen buccalen oder palatinalen Füllungen konnten nur zwei Härtemessungen, bei anderen bis zu 14 durchgeführt werden.

Eine Frage, die es bei den Härteprüfungen zu klären galt, war, ob die Härte der Füllung von ihrer Lage im Zahn abhängig ist. Occlusale Amalgamfüllungen könnten härter als andere einflächige oder mehrflächige Füllungen sein.

Die vorhandenen 99 Zähne mit Amalgamfüllungen konnten nach der Lage und Größe der Füllung in 4 Gruppen unterteilt werden. Nämlich in ein-, zwei- und dreiflächige Füllungen. Bei den einflächigen wurde noch einmal zwischen occlusalen einerseits und palatinalen oder buccalen andererseits unterschieden.

Man neigt zu der Annahme, daß zum Beispiel centrale Füllungen härter sein könnten als approximale, weil aufgrund der leichteren Stopf- und Bearbeitungstechnik die Kondensation optimal sein kann, während bei centrodistalen, centromesialen oder doppelapproximalen Füllungen oft wegen der nicht gut adaptierbaren Matrize eine kräftige Stopftechnik nicht möglich ist.

O v e r d i e k (28) hält die Approximalfüllungen für einen besonderen "Schwachpunkt" und B r u h n (2) meint, nur einflächige Kavitäten lassen starkes Kondensieren zu.

Von buccalen, cervicalen und palatinalen Füllungen erwarten wir ebenfalls eine geringere Härte, da sie häufig schwer zugänglich liegen und die Bearbeitung nur unvollkommen möglich ist.

In Tabelle V sind die Durchschnittshärten aller 99 geprüften Füllungen nach ihrer Lage im Zahn geordnet.

Tab. V

	Lage der Füllung	Anzahl d. F.	Durchschnittshärte
Einflächige Füllungen	a) F_1 - central	21	
	50 %	6	34,1 kg/mm^2
	70 %	15	80,0 kg/mm^2
	b) F_1 - pal. u. bucc.	9	
	50 %	3	38,4 kg/mm^2
	70 %	6	81,0 kg/mm^2
Zweiflächige Füllungen	F_2	62	
	50 %	6	35,0 kg/mm^2
	70 %	56	77,3 kg/mm^2
Dreiflächige Füllungen	F_3	7	
	50 %	keine	
	70 %	7	81,8 kg/mm^2

Die gefundenen Härtewerte zeigten sofort, ob wir es mit einem 50 %igen Silber-Zinn-Amalgam oder mit einem zwischen 65 - 70 %ig liegendem zu tun hatten. Während die hochprozentigen Amalgame an Werten zwischen 60 - 90 kg/mm^2 zu erkennen waren, massen wir bei den unedleren Amalgamen Härten, die von 27 - 40 kg/mm^2 reichten.

Die grösste Härte ergibt sich bei den F_3 - Füllungen, während die F_1 - Füllungen unabhängig von ihrer Lage ziemlich gleich hart sind. Am wenigsten hart sind F_2 - Füllungen. Es besteht also k e i n e Abhängigkeit der Härte von der Lage der Füllung im Zahn. Mit Anstieg des Silbergehaltes steigt auch die Härte eines Amalgams. Während eine durchschnittliche Härte von 35,8 kg/mm^2 für die 50 %igen Amalgame ermittelt werden

konnte, ergab sich für die Edelamalgame ein Mittelwert von 80,0 kg/mm^2.

Bei der Beurteilung und Auswertung der einzelnen Härtewerte interessierte noch, ob die Härte älterer Amalgamfüllungen geringer ist als die Härte jüngerer. Verändern die Einwirkungen mechanischer, chemischer und thermischer Art über Jahre die Härte einer Amalgamfüllung?

Stellt man die gefundenen Werte in Beziehung zur Liegedauer, so kann man in Tab. VI ersehen, daß keine Abhängigkeit der Härte vom Alter zu vermerken ist.

Alle ermittelten Werte dürften hoch genug sein, um dem Kauen widerstehen zu können. Auch bei längerer Liegedauer im Munde verändert sich die Härte von Amalgamfüllungen nicht.

L o e b i c h (25) fordert vom Amalgam nach einer Stunde eine Brinellhärte von 7 kg/mm^2, schon dieser Wert ist größer als die mittlere Kaukraft, die E i c h n e r (6) mit 2 - 5 kp während des Kauvorganges angibt.

Tab. VI

Abhängigkeit der Härte von der Liegedauer im Munde

unter 1 Monat	11 Füllungen	79,1 kg/mm^2
unter 1 Jahr	21 Füllungen	81,7 kg/mm^2
1 Jahr	12 Füllungen	77,2 kg/mm^2
2 Jahre	11 Füllungen	74,2 kg/mm^2
3 Jahre	9 Füllungen	80,5 kg/mm^2
4 Jahre	5 Füllungen	77,4 kg/mm^2
5 Jahre	3 Füllungen	77,3 kg/mm^2
6 Jahre	5 Füllungen	72,1 kg/mm^2
7 Jahre	1 Füllung	76,6 kg/mm^2
8 Jahre	4 Füllungen	81,2 kg/mm^2
9 Jahre	1 Füllung	76,6 kg/mm^2
10 Jahre	keine Füllung	-,- kg/mm^2
11 Jahre	keine Füllung	-,- kg/mm^2
12 Jahre	1 Füllung	73,1 kg/mm^2

Ergebnisse der Härtemessungen

Es wurden 100 getragene Amalgamfüllungen verschiedenen Alters mit dem Durimet-Mikrohärteprüfgerät bei einer Belastung von 25 g gemessen. Die dabei erzielten Werte waren jedoch wesentlich höher als die Vergleichswerte der Herstellerfirmen von Amalgamen.

Die Ursache lag, wie sich zeigte, einerseits an der Nachgiebigkeit des verwendeten Plastilinzwischenlagers und andererseits darin, dass mit dem Durimet-Härteprüfer ein in seinen Diagonalen zu kleiner Eindruck erzeugt wird, der nur einzelne Phasen des Amalgams erfasste. Dadurch erklärt sich auch die breite Streuung der Werte.

In einer zweiten Versuchsanordnung wurden somit alle Füllungen mit dem DIA TESTOR mit einer Belastung von 2 kg geprüft. Die so ermittelten Werte sind in Tabelle V (Seite 33) zusammengestellt. Weitere Ergebnisse von Härtemessungen enthält die Zusammenfassung auf Seite 66.

VIa. Klinische Forderungen an Amalgamfüllungen

Die im Munde befindlichen Amalgamfüllungen werden mechanischen, chemischen und thermischen Einflüssen unterworfen, denen sie auf die Dauer nur widerstehen können, wenn der Zahnarzt eine einwandfreie Verarbeitung des Amalgams durchgeführt hat. Es besteht jedoch selbst bei optimaler Verarbeitung des Materials nur bei korrekter Kavitätenpräparation Aussicht auf Dauererfolg.

Die Füllung im Munde muß dem Kaudruck gewachsen und kantenfest sein. Ihre Härte soll etwa der der Zahnhartsubstanzen gleichen und die Wärmeleitung der der Zahngewebe entsprechen. Da jedoch Metalle gute Wärmeleiter sind, wird man sich bei großen Amalgamfüllungen mit einer Unterfüllung behelfen müssen, um Pulpairritationen zu vermeiden.

Die Forderung nach Ähnlichkeit der Farbe wird man fallenlassen können, da Amalgam seine Indikation im nicht sichtbaren Seitenzahnbereich der Mundhöhle hat. Von chemischen Stoffen soll die Füllung nicht zersetzt werden. Außerdem ist Formbeständigkeit zu fordern.

G r e t h (13) nennt folgende Forderung an Amalgame, um Mißerfolge zu vermeiden:

1) Schnelle Erhärtung,
2) gute Volumenbeständigkeit,
3) hohe Druck-, Kantenfestigkeit und Härte,
4) Korrosionsfestigkeit,
5) möglichst helle Farbe und
6) allgemeine Unschädlichkeit.

Das National Bureau of Standards (NBS) spezifizierte die Anforderungen an Amalgame und I l g (21) erläuterte diese Forderungen:

In der Feilung sollen mindestens 65 % Silber und 25 % Zinn enthalten sein. Kupfer und Zink müssen nicht, dürfen aber enthalten sein und zwar Kupfer bis zu 6 % und Zink bis zu 2 %.

Gold und Platin können ebenfalls enthalten sein.

Den Dimensionsänderungen der Amalgame werden Grenzen gesetzt, indem sie mindestens 3 und höchstens 13 µ betragen dürfen.

Ausserdem gilt als Kriterium die Flow-Messung. Flow - das Fliessen unter Druck - darf nicht mehr als 4 % der Ausgangslänge betragen.

Eine weitere Forderung ist die der Schneidfähigkeit - C a r v i n g - nach dem Stopfen. Sie soll unmittelbar nach dem Legen der Füllung, solange das Amalgam nur teilweise erhärtet ist, mit scharfen, schneidenden Instrumenten möglich sein, damit der Füllung ihre richtige, anatomische und funktionelle Form gegeben werden kann. Carving soll nur bis 15 Minuten nach dem Stopfen möglich sein.

R i e t h e und S c h a d e (35) haben die Frage des Carving untersucht und dabei beträchtliche Unterschiede zwischen 50 %igen Amalgamen und 60 - 70 %igen gefunden. Die höherprozentigen Amalgame erhärten schneller, geben aber dem Zahnarzt trotzdem noch genug Zeit zum Nacharbeiten.

Die Erhärtung nimmt in gleicher Weise zu, wie freies Quecksilber verschwindet, nämlich in Form einer Abklingfunktion.

Die Forderungen des NBS sind von der Dentalindustrie und den Zahnärzten als richtungsweisend angenommen worden. Die ADA-Spezifikationen, die hier besprochen wurden, entsprechen denen der FDI-Spezifikationen, die in absehbarer Zeit für Deutschland gültig werden. Darüber hinaus sollte man jedoch fordern, dass Zink in den zahnärztlichen Amalgamen nicht mehr verwendet wird.
Nach O v e r d i e k (28) entwickeln sich an zinkhaltigen Amalgamen, die frühzeitig mit Feuchtigkeit in Berührung kommen, zwei nicht erwünschte Nachteile.

1. Es tritt eine " S p ä t e x p a n s i o n " auf, die kurz nach dem Legen der Füllung beginnt und sich über Monate hinweg auswirkt. S k i n n e r (41) und P h i l l i p (29) stellten Expansionswerte grösseren Ausmasses und Härte-

verluste fest.

2. Nach S c h o o n o v e r , S o u d e r und B e a l l (39) tritt die Ausbildung kleiner, knötchenförmiger Erhebungen an der Oberfläche (Blisters) auf. Es handelt sich dabei um Hohlräume im Amalgam, die durch den Druck des entstehenden Wasserstoffs gebildet werden. Die Ursache dafür sind Korrosionsvorgänge im Innern der Füllung. Es bildet sich zwischen Zink als Anode und Silber als Kathode mit dem elektrolyten Wasser Wasserstoff an der Kathode. Der Innendruck des so entstandenen Wasserstoffs bildet die Blisters.

Expansions- und Kontraktionsvorgänge, die an Amalgamfüllungen beobachtet werden, spielen eine wesentliche Rolle für ihren späteren Erfolg. Besonders bedenklich erscheinen dabei Kontraktionserscheinungen.

H a u b e i l (16) stellte an Kupferamalgamen starke Kontraktionsvorgänge fest und nannte A g e s t a n , im Gegensatz zu den Angaben der Hersteller, kontrahierend. Dieser Meinung schlossen sich auch F i c h t und F i s c h e r (8) an. Sie fanden bei Versuchen mit Agestan-Legierungen und besonders für Agestan-Tabletten regelmäßig Kontraktionen. Diese Kontraktionen, die der Randspaltbildung zwischen Zahnhartsubstanz und Füllungskörper vorausgehen, sind die Ursache vieler Mißerfolge bei Amalgamfüllungen. Die Spaltbildung ist unhygienisch und leistet Verfärbungen Vorschub. Gleichzeitig wird die Retention der Füllung geringer.

Verschiedene Autoren weisen darauf hin, daß Kontraktionen und Spaltbildung nicht automatisch als Mißerfolg betrachtet werden müssen. P h i l l i p s und M c D o n a l d (30) beschreiben eine bakteriostatische Wirkung des Amalgams, die bei eventueller Spaltbildung die Sekundärkaries eindämmen soll. W a g n e r (44) erkannte eine durch Korrosion ausgelöste Deckschichtbildung, die zwischen Amalgam und Kavitätenwand vermittelnd wirkt. Korrosionsprodukte sollen sich in Randspalten ablagern und somit einen gewissen Abschluß bewirken. Die Frage der K o r r o s i o n der Amalgame ist

für Erfolg oder Mißerfolg von Füllungen von großer Bedeutung. Korrosion ist nach W e i k a r t (45) ein nichtbeabsichtigter, mit dem Gebrauch der Werkstoffe nicht notwendig verbundener, von der Oberfläche ausgehender Angriff chemischer Natur von Stoffen auf Metalle oder Legierungen, der zu ihrer Zerstörung führt.

Die Korrosion im Munde wird eingeleitet durch aufgenommene Getränke, Speisen und die eingeatmete Luft. Besonders durch schwefel- und phosphorhaltige Speisen, Essig und Zitrone. Auch Wein in Verbindung mit dem Sauerstoff oder der Kohlensäure der Luft korrodiert das Amalgam. Daneben ist die Korrosion im Munde auf elektrochemischen Wege möglich. Dabei haben wir es mit einem kurzgeschlossenen Element, bestehend aus einem edlen und einem weniger edlen Metall zu tun, wobei der Speichel als Elektrolyt wirkt. So wird das unedle unter Abgabe von Metallionen gelöst, die sich entweder am edlen Metall ablagern oder im Speichel gelöst werden. Auf diese Weise können sie mit hinuntergeschluckt werden.

R e b e l (31) nennt als zweite Möglichkeit für elektrochemische Korrosion metallisch nicht geschlossene Elemente, wobei keine Auflösungserscheinungen und keine Ionenlösung zu erkennen sind. Aufgrund dieser Bedenken wird von der Benutzung verschiedener Metalle in einer Mundhöhle abgeraten, besonders wenn sie in direktem Kontakt zu einander stehen. Die Stärke und Dauer der Korrosion ist abhängig von der

1) Zusammensetzung der Legierungen,
2) mechanischen Bearbeitung der Füllung,
3) thermischen Behandlung einer Füllung,
4) Aufladung der Oberfläche mit O_2, N_2 und CO_2,
5) vom ph-Wert der Mundflüssigkeit und
6) dem Gehalt des Speichels an anorganischen Salzen.

W e i k a r t (45) erkannte das elektrochemische Potential der Amalgame als vom Zinn abhängig und vom Silber unabhängig. W a g n e r (44) schließt sich dieser Meinung an, sagt aber, daß Potentialmessungen nur Auskunft über die Möglichkeit

der Korrosion geben, nicht aber über ihre Geschwindigkeit. F i s c h e r , M e r t e n s m e i e r und M o r d a s s (11) beschreiben, daß sich Korrosionsprodukte in den Spalten älterer Amalgamfüllungen ablagern und sie so in günstigen Fällen verschließen. An vitalen Zähnen kann sogar eine Korrosion an dem Dentin zugewandten Stellen durch den Austritt von Flüssigkeit aus den Dentinkanälchen stattfinden. Demnach kann die Korrosion für Amalgamfüllungen vorteilhaft sein, nämlich, wenn sie sich im Sinne eines Selbstschutzes auswirkt. S e i t z (40) stellte dazu fest, daß mit Ausbildung einer Deckschicht das Potential des Amalgams merklich edler wird. Bei Entfernung der Deckschicht fand er wieder ein unedleres Potential. Auch R h e i n w a l d (33) hebt hervor, daß jedes Metall das Bestreben hat, sich vor Korrosion zu schützen, indem es sich mit einer Oxydschicht überzieht. So auch die Amalgamfüllung. Der Zahnarzt kann der Amalgamfüllung einen Korrosionsschutz geben, wenn er die Oberfläche poliert.

VIb. Fehler an getragenen Amalgamfüllungen

Für die Darstellung von Fehlern an getragenen Amalgamfüllungen wurden interessierende Stellen von Schliffen der in dieser Arbeit für Härteprüfungen benutzten 100 Füllungen vergrößert und fotografiert. Aus diesen Fotografien wurden einige ausgewählt als beispielhaft für häufig auftretende Fehler. Die veröffentlichten Abbildungen 12 - 24, außer Abbildung 19, entstanden im Metallurgischen Labor der Degussa/ Pforzheim nach eigenen Präparaten.

Die durch die photographischen Untersuchungen festgestellten Fehler an getragenen Amalgamfüllungen wurden

1. hauptsächlich durch unsachgemäße Präparation der Kavität
2. unrichtige Anwendung der Hilfsmittel bei der Applikation einer Füllung und
3. nachlässiges Stopfen verursacht.

Zu 1. Unsachgemäße Präparation

Die u n g e n ü g e n d e V e r a n k e r u n g einer Füllung läßt nach O v e r d i e k (28) schon bei wechselnden Temperatureinflüssen ein Lösen aus ihrer Kavität erwarten. Abb. 12 zeigt eine 9 Monate alte Amalgamfüllung, bei der sich durch mangelnde Stufengestaltung ein beträchtlicher Spalt gebildet hat. Eine Ablösung des Amalgams von der Stufe ist deutlich zu beobachten. Weiterhin ist dabei die nachlässig durchgeführte Präparation zu bemängeln. Reste einer alten Füllung sind in der Kavität belassen worden. Sie sind gut sichtbar unter der neuen Füllung.

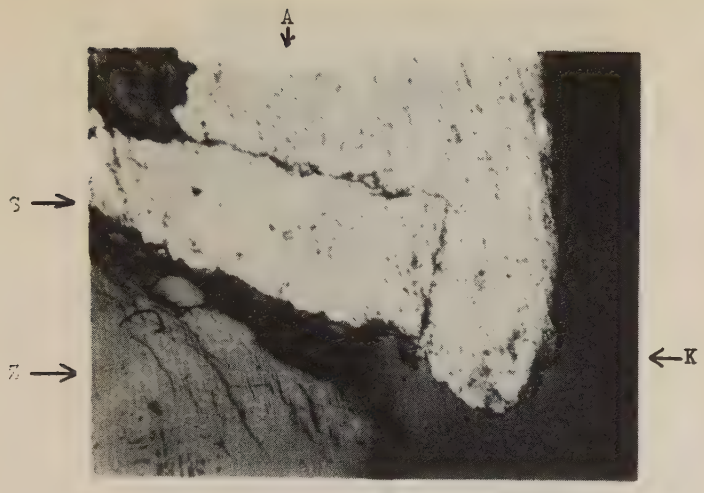
Die Präparation für die Aufnahme einer Amalgamfüllung sollte nach den Black'schen Regeln vorgenommen werden. Auf ein Anbringen von Unterschnitten kann nicht verzichtet werden, denn sie garantieren in Verbindung mit kräftiger Kondensation die nötige Rentention. Auch in Approximalteilen der Zähne sollte eine untersichgehende Präparation angestrebt werden. Dort lösen sich die Füllungen besonders leicht, während sie im occlusalen Teil noch äußerst fest und spaltfrei sitzen können, also einen befriedigenden Zustand vortäuschen.

Der Kavitätenrand im occlusalen Bereich von Amalgamfüllungen birgt viele Fehlermöglichkeiten in sich. Dort können in Schliffen besonders breite Spalten auftreten. Abb. 13 und 14 zeigen trichterförmige Vertiefungen zwischen Füllung und Zahn. Der Randschluß ist verlorengegangen. In der Tiefe zeigen die Füllungen Spaltbildungen. Kaukrafteinflüsse und übermäßige Kontraktionen werden diese Erscheinungen erzeugt haben. Loebich (26) konnte in Versuchen mit Stahlformen feststellen, daß im unteren bis mittleren Teil der Formen der beste Randschluß des hineingestopften Amalgams besteht. An der Oberfläche fehlte jedoch der Kontakt mit den Wänden der Stahlformen. Es waren dort auch diese für Amalgame charakteristischen, trichterförmigen Vertiefungen zu beobachten. Diese Erscheinungen konnte auch schon Witzel in seinem Buche aus dem Jahre 1898 (47) beschreiben.

Bei diesen Beobachtungen war jedoch erstaunlich, daß bei solchen Erscheinungen an getragenen Füllungen keinerlei Sekundärkaries festzustellen war.

Eine einheitliche Beurteilung beim Legen von Füllung in Füllung ließ sich nicht finden. Es entspricht jedoch nicht der Gepflogenheit, diese Behandlungsweise durchzuführen. Der sorgfältige Behandler wird sich vom Zustand der Zahnsubstanzen unter einer vorhandenen Füllung überzeugen wollen und keine Reste in einer Kavität belassen. Bei der Untersuchung der überschnittenen, getragenen Amalgamfüllungen ließ sich eine Füllung finden (Abb. 15), die mit der anderen spaltfrei verbunden ist.

Abb. 15 zeigt einen spaltfreien Übergang der einen Füllung in die andere. Interessant dabei ist die Feststellung, daß es sich um eine Legierung mit niederem und eine mit höherem Silbergehalt handelte. Bei der Füllung ist die Grenze zwischen beiden Füllungen nicht an die Oberfläche gelangt. Hier scheint eher ein dauerhafter Erfolg möglich, wenn unter der alten Füllung keine Sekundärkaries besteht.

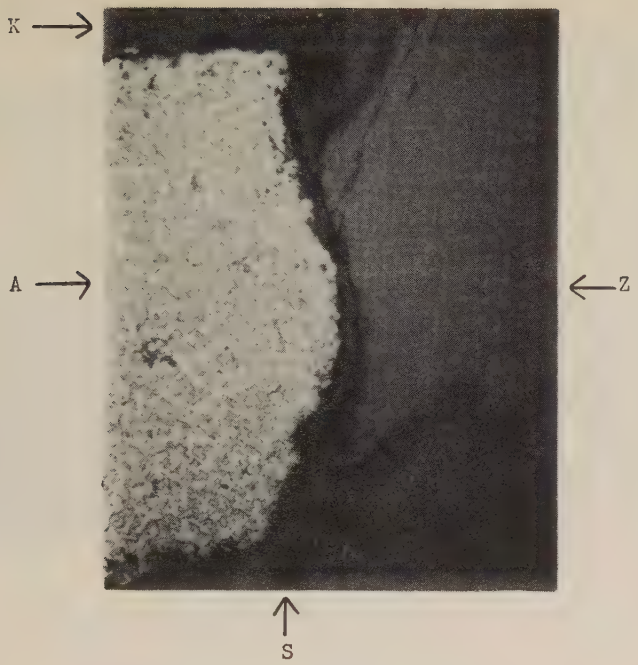


A = Füllung
S = Spalt
Z = Zahnhartsubstanz
K = Kunststoff der Einbettung

Abb. 12 zeigt eine 9 Monate getragene, centro-distale, hochprozentige Füllung an einem $\overline{5}$. Erhebliche Spaltbildung im approximalen Teil der Amalgamfüllung. Den Überblick gibt die Zeichnung. Vergr. 50 : 1

A = Füllung
Z = Zahnhartsubstanz
K = Kunststoff der Einbettung
S = Spalt

Abb. 13 zeigt eine 3 Jahre, 5 Monate alte, hochprozentige, centro-mesiale Amalgamfüllung an einem $\underline{6}$. Charakteristisch ist die trichterförmige Vertiefung zwischen Füllung und Zahn. Die Zeichnung bringt die Übersicht und den photographierten Ausschnitt. Vergr. 50 : 1



A = Füllung
Z = Zahnhartsubstanz
K = Kunststoff der Einbettung
S = Spalt

Abb. 14 zeigt eine 2 Jahre, 4 Monate getragene, 50 %ige, centrale Amalgamfüllung an einem $\overline{6}$. Bemerkenswert neben Spaltbildung die trichterförmige Vertiefung am occlusalen Füllungsrande. Übersicht wird durch die Zeichnung gegeben. Vergr. 50 : 1

Abb. 16 zeigt wiederum Füllungen verschiedenen Silbergehalts nebeneinander in einer Kavität, jedoch mit großer Spaltbildung. Es handelt sich um zwei zu verschiedener Zeit gelegter Füllungen unterschiedlichen Silbergehalts an der Oberfläche. Vergleicht man die Vergrößerungen von Abb. 15 und 16 miteinander, muß Abb. 16 als äußerst negativ angesehen werden.

Die in Abb. 17 gefundene Sekundärkaries am cervikalen Füllungsrande deutet auf eine ungenügende Präparation hin, da die Füllung erst 3 Monate alt ist. Außerdem ist bekannt, daß Spaltbildung nicht unbedingt eine Sekundärkaries nach sich ziehen muß, bedingt durch die verschließende Wirkung von Korrosionsprodukten und die geringe Bakteriostase der Amalgame. Beispielsweise zeigt Abb. 18 einen Spalt, infolge von Kontraktionen, ohne Anzeichen einer sekundären Karies. Die Füllung ist 11 Monate alt.

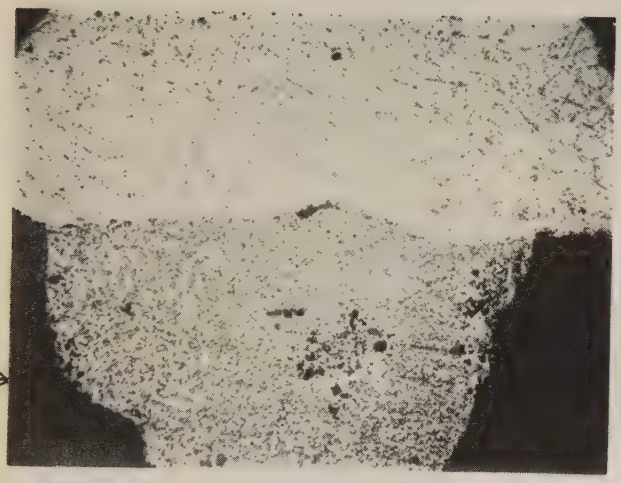
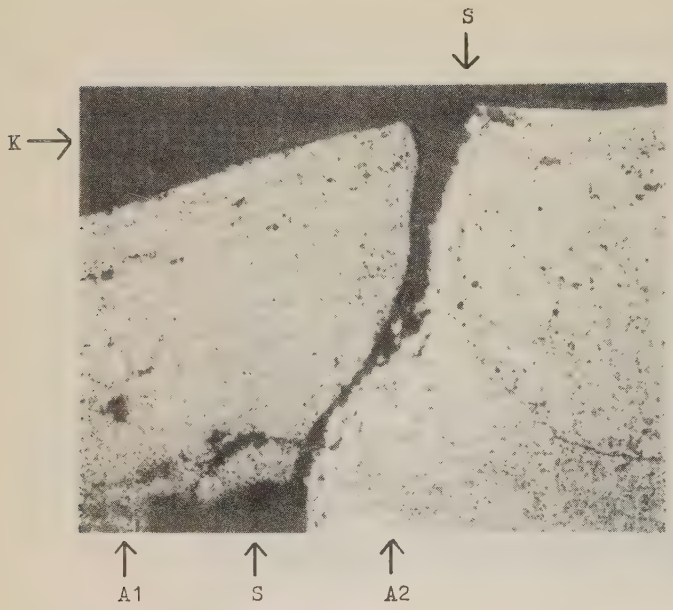


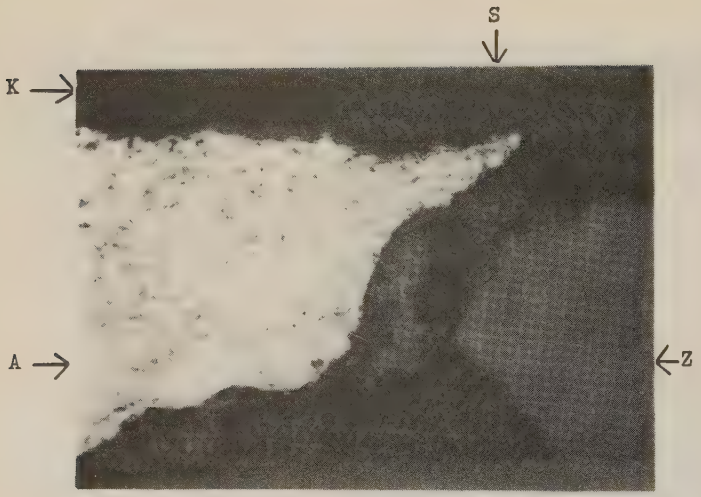
Abb. 15 zeigt zwei Füllungen verschiedenen Silbergehalts in einer Kavität an einem $\underline{6}$ in centraler Lage. Die hochprozentige Füllung ist 1 Jahr, 7 Monate alt. Übersicht gibt die Zeichnung. Vergr. 50 : 1



A1 = niederprozentige Füllung
A2 = hochprozentige Füllung
K = Kunststoff
S = Spalt

Abb. 16 zeigt Füllungen verschiedenen Silbergehalts in einer Kavität mit Spaltbildung. Die hochprozentige Füllung wurde 2 Jahre, 1 Monat getragen. Es handelt sich um $\overline{8}$ in centro-mesialer Lage. Übersicht gibt die Zeichnung. Vergr. 50 : 1

Abb. 17 zeigt eine 3 Monate im Munde getragene, centro-mesiale, hochprozentige Amalgamfüllung an einem 6. Das Auftreten einer Karies schon nach 3 Monaten lässt den Schluss zu, dass die Präparation der Kavität mangelhaft durchgeführt wurde.



A = Füllung
S = Spalt mit Phosphatzement
Z = Zahnhartgewebe
K = Kunststoff der Einbettung

Abb. 18 zeigt eine 11 Monate alte, centrale, hochprozentige Füllung. Deutliche Spaltbildung ohne Anzeichen einer Sekundärkaries. Zeichnung gibt Übersicht. Vergr. 50 : 1

Zu 2. Fehlerhafte Anwendung von Hilfsmitteln

Durch die unsachgemäße Verwendung oder das Weglassen der H i l f s m i t t e l bei der Herstellung einer Füllung ergeben sich häufig Fehlerquellen, die für den Mißerfolg der Amalgamfüllung verantwortlich sind.

In erster Linie ist hier die Verwendung einer M a t r i z e zu nennen, die bei Approximalfüllungen eingesetzt werden muß. Die Matrize wird benutzt, um in schwer zugänglichen, für den Behandler nicht erreichbaren, unübersichtlichen Gebieten des Zahnes, Füllungen mit einem optimalen Randschluß erzeugen und kondensieren zu können. Selbst bei steter Anwendung einer Matrize ist der Erfolg noch nicht sicher, da eine Matrize aufgrund eigener Elastizität und Spannung oft vom cervikalen Stufenrand absteht. Daher sollte, wenn nötig, ein Interdentalkeil zur Anwendung gelangen. Eine weitere Anforderung an die Matrize ist das Fernhalten von Feuchtigkeit (Speichel, Blut) beim Legen der Füllung, denn es ist zu beachten, daß gerade vom Gingivalrand Gewebsflüssigkeit zwischen Zahn und Matrize eindringen kann. Daneben ist noch Aufgabe der Matrize, die Zahnform und den Kontaktpunkt wiederherstellen zu lassen.

Abb. 19 zeigt Schädigungen der Parodontien als Folge übergestopfter Füllungen.

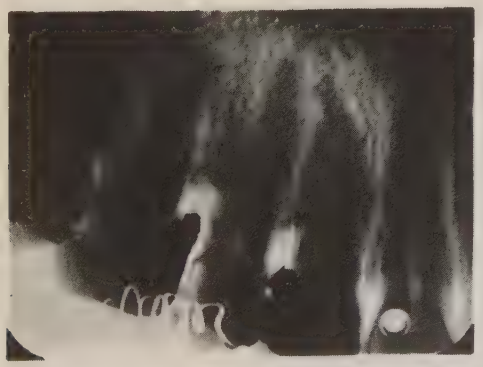


Abb. 19 zeigt das Röntgenbild von Füllungen, die ohne Matrize hergestellt wurden. Besonders durch die Füllung des 1. Molaren wird die Schädigung der Parodontien sichtbar.

Abb. 20 und 21 zeigen eine Füllung, die ohne enganliegende Matrize gefertigt wurde. In Abb. 20 ist die Füllung noch durchaus positiv zu bewerten. Die 50-fache Vergrößerung zeigt jedoch deutlich, mit welcher Vorsicht man dabei urteilen muß. Auffallend nimmt die Dichte des Gefüges im überstopften Teil ab, es mehren sich die Hohlräume. Der entstandene Spalt zwischen Wurzel und übergestopften Teil der Füllung ist ein unhygienischer Schmutzfänger. Diese Nachteile für die Füllung und den Zahn werden noch durch mögliche Parodontalschäden verstärkt. Besonders L i c h t e n b e r g (24) hat sich mit der Approximalfüllung beschäftigt und konnte feststellen, daß der größte Prozentsatz der von ihm untersuchten Füllungen schlecht ist. Er gab als Gründe falsche Indikation, ungenügende Separation und Präparation der Kavität, fehlenden oder falschen Matrizengebrauch und Unterlassen von Versäuberung und Politur an. Unter Versäubern versteht er das Nacharbeiten der noch plastischen Füllung im occlusalen Bereich und Beseitigung von Fehlern, die eventuell durch nicht sorgfältig angelegte Matrizen entstanden sind.

Die Untersuchung von 4012 approximalen Amalgamfüllungen ergab eine Abhängigkeit der Güte vom Operationsfeld. Füllungen im Oberkiefer wiesen schlechtere Ergebnisse als solche im Unterkiefer auf und disto-approximale befanden sich in einem ungünstigeren Zustande als mesio-approximale.

Ein weiteres Hilfsmittel, der Amalgamfüllung zum Erfolg zu verhelfen, ist die U n t e r f ü l l u n g . Da das Amalgam als Metall ein guter Wärmeleiter ist, empfiehlt es sich, bei tiefgehenden Füllungen zum Schutze der Pulpa eine Phosphatzementunterlage zu applizieren. In dieser Forderung liegen folgende Fehlermöglichkeiten:

1) Die Unterfüllung muß vor Aufnahme der permanenten Füllung von den Randpartien und der approximalen Stufe sorgfältig entfernt werden.

Abb. 20 zeigt eine übergestopfte centro-mesiale Füllung 4. Die Füllung wurde 8 Tage im Munde getragen. Es handelt sich um ein hochprozentiges Amalgam.

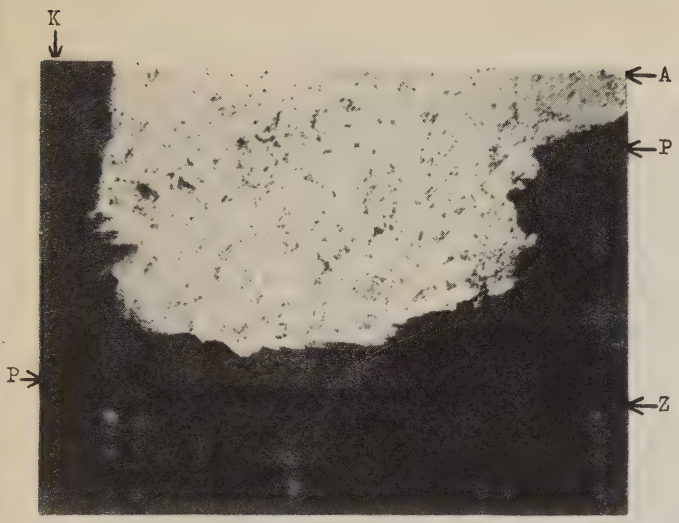
Abb. 21 zeigt die 50-fache Vergrösserung des übergestopften Teils von Abb. 20. Die Abbildung ist seitenverkehrt. Deutlich wird die Spaltbildung im übergestopften Teil sichtbar.

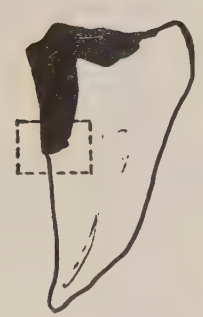
2) Die Unterfüllung darf nicht zu stark sein, damit das darübergestopfte Amalgam nicht zu dünn wird.

3) Die völlige Erhärtung der Unterfüllung muss abgewartet werden, da sonst die Gefahr besteht, dass bei der Ausübung des Kondensationsdruckes noch weiches Unterfüllungsmaterial an den Seiten herausgedrückt wird und sich dann zwischen Zahn und Füllung an der Oberfläche befindet.

Phosphatzement ist anfällig gegen die Angriffe des Speichels, es wird innerhalb von wenigen Monaten ausgewaschen. Die Möglichkeit der Spaltbildung bedeutet somit wieder Gefahr für den Erfolg der Amalgamfüllung.

Bei Abb. 22 handelt es sich um eine 17 Tage alte Füllung, bei der zwischen Stufe und Füllung noch Phosphatzement zu sehen ist. Es handelt sich dabei um einen Zahn 8 mit einer centro-distalen Füllung. Ursache für diese mangelhafte Verarbeitung ist in der ungünstigen Lage der Kavität dieser Stelle und der behinderten Übersicht zu sehen.





A = Füllung
P = Phosphatzement
Z = Zahnhartsubstanz
K = Kunststoff der Einbettung

Abb. 22 zeigt eine 17 Tage im Munde getragene centro-distale, hochprozentige Amalgamfüllung an einem 8. Deutlich ist Phosphatzement auf der Stufe zwischen Füllung und Zahnhartsubstanz zu beobachten. Die Zeichnung bringt di Übersicht. Vergr. 50 : 1

Zu 3. Fehler beim Stopfen

Ausschlaggebend für die Güte einer Füllung ist die K o n d e n s a t i o n . Durch sie wird ein homogenes Gefüge erreicht. Je weniger Hohlräume und je glatter die Oberfläche, desto besser ist die Mundbeständigkeit und die Farbe der späteren Füllung.

Ein homogenes Gefüge ist widerstandsfähiger gegenüber mechanischen Belastungen. Die richtige Stopftechnik entscheidet, ob Kontraktions- und Expansionserscheinungen die Füllung optimal beeinträchtigen.

Der individuell ausgeführte Kondensationsdruck bewirkt nach F i s c h e r (9) bei:

zu geringem Druck = Expansion
zu hohem Druck = Kontraktion

Sitz und Halt der Füllung werden ebenfalls von einer richtigen Stopftechnik bestimmt. Wenn das Amalgam in alle Unterschnitte einrotiert wird, ist mit einem guten Halt zu rechnen. Ein inniger Kontakt des Füllungsmaterials mit den Kavitätenwänden muß garantiert sein. Es dürfen keine Spalten zurück bleiben.

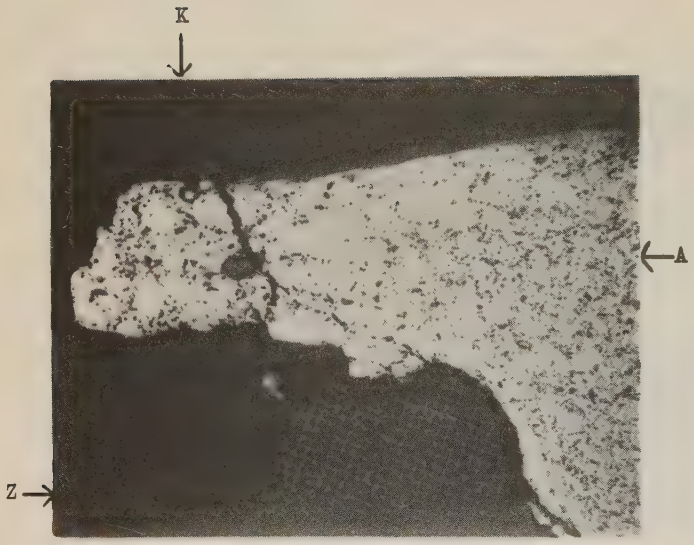
Gründliche und gleichmäßige Kondensation von kleinen Amalgamportionen verhindern Fehler. Sie bringen der Amalgamfüllung den wesentlichen Vorteil gegenüber der Gußfüllung, da hier Material direkt auf die Zahnhartsubstanz aufgebracht wird.

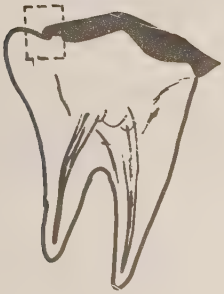
Abb. 23 zeigt eine centro-mesiale Füllung 4| mit einem Alter von einem Jahr und vier Monaten. Durch mangelhafte Kondensation entstanden viele Poren und Risse innerhalb der Füllung. Beachtenswert ist auch die Breite des Spaltes zwischen Zahn und Füllung infolge ungenügender Kondensation.

Das Legen von F ü l l u n g e n über den R a n d muß vermieden werden und zählt zu häufigen Fehlerquellen. Ein Beispiel zeigt Abb. 24. Es handelt sich um eine 1 Jahr,

A = Füllung
Z = Zahnhartsubstanzen
S = Spalt mit Phosphatzement

Abb. 23 zeigt eine 1 Jahr, 4 Monate alte, centro-mesiale, hochprozentige Amalgamfüllung an einem 4|. Durch mangelhafte Kondensation entstand ein aufgelockertes Gefüge der Füllung. Die Zeichnung gibt den Überblick vom Ausschnitt. Vergr. 50 : 1





A = Füllung
Z = Zahnhartsubstanz
K = Kunststoff der Einbettung

Abb. 24 zeigt eine 1 Jahr, 9 Monate alte, contro-distale, hochprozentige Amalgamfüllung an einem $\underline{6}$. Die Füllung wurde über den präparierten Rand der Kavität gelegt und brach dort mangels Abstützung unter der Kaubelastung. Die Übersicht der Lage der Füllung im Zahn bringt die Zeichnung. Vergr. 50 : 1

9 Monate alte Füllung, bei der die Füllung über den Kavitätenrand gelegt wurde. Eine anschließende Modellation der Füllung unterblieb offensichtlich. Da dem Ausläufer die Abstützung fehlte, brach er unter Kaubelastung ab. Das Nacharbeiten der noch plastischen Füllung und die Politur nach 24 Stunden hätte Verbesserung schaffen können.

Unter der Annahme, daß Amalgamfüllungen auch noch nach 24 Stunden Dimensionsänderungen unterworfen sind, empfiehlt H e l b i g (17) die jährliche Wiederholung der Politur zum Nacharbeiten und zur Randkontrolle.

VII. Diskussion

Die Untersuchungen getragener Amalgamfüllungen auf Härte haben sowohl bei den 50%igen als auch bei den 70%igen Amalgamen voll befriedigende Ergebnisse nach den Forderungen L o e b i c h s (25) aus dem Jahre 1933 erbracht. Da die ADA-Spezifikation Nr. 1 des National Bureau of Standards nur noch Amalgame mit einem Silbergehalt von mindestens 65 % zuläßt, ist eine ausreichende Sicherheit für die Beanspruchung gegeben. Von den Herstellern wird für die hochprozentigen Silberamalgame eine Brinell-Härte von 60 kg/mm^2 angegeben. Da diese, von allen geprüften, hochprozentigen Füllungen erbracht wurde, kann man annehmen, daß sie auch bei ungenügender Kondensation erreicht wird.

Die in der Methodik der Härteprüfungen aufgetretenen Schwierigkeiten sollen noch einmal erwähnt werden. Mikrohärtemessungen an Amalgamfüllungen eignen sich nicht. Die von S c h o c h und L o e b i c h (38) festgestellte Porosität von 6 - 7 % auch bei intensiv gestopften Füllungen wird von im Munde angewendeten Amalgamen sicher noch erheblich übertroffen. Die sich bei Mikrohärtemessungen ergebenden Eindruckgrößen bewegen sich im μ-Bereich. Porositäten können sich daher leicht auf die Meßergebnisse verzerrend auswirken, da sie nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in der Tiefe liegen. Abgesehen davon ist es schwierig, scharf begrenzte Eindrücke zu erzeugen, die zur exakten Ausmessung nötig sind. Es erwies sich als falsch, Prüfstücke mittels eines Plastilinzwischenlagers auf der Unterlage planzudrücken, um Härteeindrücke zu erzeugen.

Die Möglichkeit des Nachgebens plastischer Stoffe bei Druckbelastungen ist doch sehr groß, auch wenn nur mit kleinen Lasten gearbeitet wird. Damit scheint eine Hauptursache für die hohen Meßergebnisse bei der Mikrohärteprüfung ermittelt zu sein.

Reelle Werte bei Härteprüfungen können nur erreicht werden, wenn zu prüfende Objekte direkt auf ihrer Unterlage aufliegen.

Für die Einbettung von Amalgamfüllungen in geteilten Zähnen eignet sich Kunststoff. In Vorversuchen konnte geklärt werden, daß die Eigenelastizität des Kunststoffes bei Belastung nicht auftritt und keine Verzerrungen auf Ergebnisse zu erwarten sind. Voraussetzung für den Erfolg von Härtemessungen an Amalgamfüllungen bleibt eine breite Auflage der Kunststoffblöcke auf ihrer Unterlage.

Den zahnärztlichen Amalgamen eigene Porositäten und seine Mikrostruktur erfordern eine gewisse Größe der Härteeindrücke, die durch die Wahl größerer Belastungen erreicht werden können. Mikrohärteeindrücke eignen sich nach H a n s e n (15) eher zur Ermittlung der Härte einzelner Phasen im Amalgam.

Die Hauptfehlerquellen bei Amalgamfüllungen liegen, wie durch Vergrößerung von getragenen Füllungen gezeigt werden konnte, an ihren Rändern. Dies ist einerseits durch die leichte Qualitätsbeeinflussung der Amalgame bei fehlerhafter Anmischung und andererseits durch mangelnde Sorgfalt bei der Applikation einer Füllung bedingt.

Die Untersuchungen zeigten, daß Mißerfolge häufig zu Lasten des Behandlers gehen. Die Ergebnisse werden durch O v e r d i e k (28) und L i c h t e n b e r g (24), der approximale Amalgamfüllungen im Munde röntgenologisch untersucht hatte, voll unterstützt.

Die eigenen, photographischen Untersuchungen erbrachten Beispiele von fehlerhafter und ungenügender Arbeitsweise des Zahnarztes, indem nach Untersuchungen aller Berührungsstellen zwischen Füllung und Zahn einige charakteristische Fehler ausgewählt wurden. Es konnte zwar ausgesagt werden, ob Kontraktionen oder Expansionen vorlagen. Ihre Ursache konnte jedoch nicht mit Sicherheit ermittelt werden, besonders wenn die Fehlerquelle im Material und dessen Zubereitung lag. Es war nämlich unbekannt, welches Amalgam benutzt und welche Bearbeitung ihm zuteil wurde.

Allein durch Veränderungen des für jede Amalgamsorte festgelegten Verhältnisses Feilung : Quecksilber, können Änderungen des Dimensionsverhaltens in kontraktiler oder expansiver Richtung bewirkt werden. Eine zu lange Anmischzeit führt neben verkürzter Möglichkeit zur Verarbeitung zu einem übermäßig triturierten Amalgam, das zur Kontraktion neigt. Auch das in vielen Fällen geübte Abpressen von Quecksilber vor dem Einbringen in die Kavität, zieht eine Kontraktion nach sich.

I l g (18) will die bei der Erhärtung der Amalgame auftretende primäre Kontraktion ausschalten, indem er sie zeitlich außerhalb der Mundhöhle ablaufen läßt. Im Widerspruch zum allgemeinen Brauch, ein eben angemischtes Amalgam unverzüglich in die vorbereitete Kavität zu bringen und zu kondensieren, wartet er so lange, bis sich das angeriebene Amalgam im Zustand der "letzten Plastizität" etwa 15 Minuten nach dem Anreiben befindet. Diese letzte Möglichkeit der Verarbeitung nützt er dann zum Stopfen. Nachdem nun der Zeitpunkt der "letzten Adaptierfähigkeit" erreicht ist, modelliert er die Füllung und arbeitet ihren Randschluß nach.

Beim Kondensieren wirkt sich nach **F i s c h e r** (9) ein zu großer Stopfdruck kontrahierend aus und ein zu schwacher Druck ergibt eine Expansion. Da nun Anmichgewohnheiten, sofern es nicht mit Dosier- und Mischgeräten erfolgt, und die Ausübung des Kondensationsdruckes individuellen Schwankungen unterworfen sind, kann man sich leicht vorstellen, wie glückhaft es sein kann, eine befriedigende Amalgamfüllung zu fertigen. Daher sollte man nicht mehr von einer leichten Herstellung der Amalgamfüllung sprechen. Die in dieser Arbeit besprochenen Fehler sind wohl hauptsächlich im Bewußtsein der leichten Applikation einer Amalgamfüllung gemacht worden.

H a u b e i l (16) hebt hervor, daß die Haltbarkeit von Amalgamfüllungen eine sorgfältige Zubereitung der Kavität voraussetzt. L i c h t e n b e r g (24) führt 1950 dazu aus, daß bei einer Leistung von 11 - 12 Füllungen pro

Tag mit einem Zeitbedarf von 30 - 40 Minuten für die Fertigstellung einer approximalen Amalgamfüllung schon ca. 8 Stunden der täglichen Arbeitszeit ausgefüllt sind. "Aus dieser Berechnung ist bereits zu ersehen, dass bei dieser Arbeitsmethode der notwendige Zeitbedarf auf Kosten der sorgfältigen Herstellung einer Füllung eingeschränkt werden muss".

Diese Ausführungen erscheinen uns heute jedoch überholt, denn bei Verwendung höchsttouriger Bohr- und Schleifgeräte sollte schon eine beachtliche Zeiteinsparung bei guter Präparation erreicht werden, die eine befriedigende Füllung in ca. 15 Minuten ermöglicht. Abschliessende Polituren nach 24 Stunden sollten den Erfolg aller Füllungen sichern.
Die mangelnde Sorgfalt des Behandlers auf die untersuchten Fälle muss auf einen Teil der in dieser Arbeit untersuchten Amalgamfüllungen angewendet werden. Die Untersuchungsobjekte wurden einer frequenten Kassenpraxis entnommen und dürften typisch sein für Füllungen, die unter einem gewissen Zeitdruck erstellt werden mussten. Dabei sei noch hervorgehoben, dass in besagter Praxis das Bestreben besteht, Präparationen nach den Empfehlungen B l a c k s vorzunehmen und jede approximale Füllung mit einer Matrize herzustellen. Es erhebt sich die Frage, ob in der Kassenpraxis bessere Ergebnisse zu erwarten sind? In diesem Zusammenhang soll auf eine andere Beobachtung hingewiesen werden, die der Praktiker kennt, die aber in der Literatur in der Regel übergangen wird. Es handelt sich um das Verhalten des Patienten während der Präparation einer Kavität. Häufig kommt es nämlich vor, dass die Patienten nicht bereit sind, den Schmerz, der bei Befolgung der Präparationsregeln auftritt, zu erdulden. So wird der Zahnarzt dazu bewogen, die Präparation abzukürzen. Das Ausmass der kariösen Zerstörung kann häufig nicht vollständig beseitigt werden.

Diese Argumente sollten bei der Ergründung von Fehlerquellen in Rechnung gestellt werden und den Zahnarzt in gewisser Weise entlasten. Es muss zwar vom Behandler ein kompro-

missloses Vorgehen in diesen Fragen gefordert werden, jedoch sind in der freien Praxis diese Probleme täglich vorhanden und behindern den Zahnarzt am einwandfreien Arbeiten.

Aus der Durchsicht der Literatur und den in dieser Arbeit ermittelten Ergebnissen, sowie den dabei angestellten Überlegungen, sollen folgende Punkte zusammengestellt werden, die bei der Applikation des Amalgams zu einer optimalen Füllung führen:

1) Verwendung einer zinkfreien Markenamalgamfeilung mit einem Silbergehalt von über 65 %,
2) das Alter der Feilung soll 1 Jahr nicht überschreiten,
3) Gebrauch der für das betreffende Amalgam vorgeschriebenen Dosier- und Mischmaschinen,
4) Vermeiden der Berührung frisch triturierten Amalgams mit bloßen Händen vor dem Einbringen in die Kavität,
5) Einhaltung der Indikation,
6) Befolgung Black'scher Präparationsregeln,
7) unbedingte Anwendung von Hilfsmitteln, Matrizen, Unterfüllung, Holzkeilen,
8) Trockenheit der zu füllenden Kavität,
9) sorgfältige Kondensation in kleinen Portionen,
10) Nacharbeiten der noch plastischen Füllung,
11) Politur der Füllung nach 24 Stunden,
12) Kontrollpolitur nach einem Jahr.

VIII. Zusammenfassung

Von 99 amalgamgefüllten, extrahierten Zähnen wurden Schnitte hergestellt. Diese Amalgamfüllungen, deren Alter bekannt war, bildeten das Untersuchungsgut für Härteprüfungen (Tabellen im Anhang) und photographische Aufnahmen. Letztere hatten das Ziel, Fehler aufzudecken, die beim Applizieren der Amalgame unterlaufen.

Dabei ergab sich:

1) Die Durchschnittshärte nach Vickers beträgt 35,8 kg/mm^2 bei den niederprozentigen 50%igen und 80,0 kg/mm^2 bei den hochprozentigen 65%igen Amalgamen.

2) Die Härte ist nicht altersabhängig.

3) Die Härte hängt nicht von der Lage der Füllung im Zahne ab.

4) Die Härte aller Amalgamfüllungen mit neuen Amalgamfeilungen ist ausreichend.

5) Die Kondensation hat nur Einfluß auf die Dichte des Gefüges. Ausreichende Härten können in jedem Falle ermittelt werden.

6) Die Härte ist vom Silbergehalt abhängig.

7) Fehlerquellen bei Amalgamfüllungen liegen in der
   a) Art des verwendeten Amalgams
   b) Art der Verarbeitung des Materials und
   c) Art der Bearbeitung von Kavität und Füllung.

8) Fehler liegen oft in mangelnafter Sorgfalt des Behandlers, die sich manifestieren in:
   a) Fehler in der Präparation,
   b) fehlernafte Anwendung oder weglassen von Hilfsmitteln bei der Herstellung einer Füllung und
   c) Fehler beim Stopfen.

IX. Literaturverzeichnis

1. Bönig-Keibel, J.
Die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 18, 871, (1961)

2. Bruhn, K.
Amalgambereitung und -verarbeitung
Zahnärztl. Rdsch., 62, 71-74, (1953)

3. Docking, A.R.
Müssen die Amalgamspezifikationen revidiert werden
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 13, 348-350, (1958)

4. Drum, W.
Eine neue Methode zur Herstellung von Amalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 8, 318, (1953)

5. Eichner, K.
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlin 1960, S. 275 und 279

6. Eichner, K.
Messung der Kräfte bei Kauvorgängen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 18, 923, (1963)

7. Einfeldt, H.
Wie können wir unsere Amalgamfüllungen verbessern
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 18, 1081, (1963)

8. Ficht, A. und Fischer, C.H.
Untersuchungen über das Dimensionsverhalten verschiedener Amalgame
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 9, 672, (1954)

9. Fischer, C.H.
Ergebnisse neuerer Amalgamuntersuchungen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 9, 26-27, (1954)

10. Fischer, C.H.
Kann die Amalgamfüllung verbessert werden
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 16, 1595-1601, (1955)

11. Fischer, C.H., Mertensmeier, L. und Mordass, K.
Vergleichende klinische Untersuchungen von Amalgamfüllungen aus verschiedenen Silberlegierungen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 15, 944, (1960)

12. Flaschentreher, H.H.
Füllung oder Krone
Zahnärztl. Reform, 56, 338-344. (1955)

13. Greth, H.
Die Amalgamfüllung
München - Berlin 1938

14. Hagedorn, F.
Untersuchungen über das Dimensionsverhalten der Amalgame
Dtsch. Zahnärztebl. 10, 198-202, (1956)

15. Hansen, S.
Über Mikrohärte und Mikrostruktur von Dentalamalgamen
Med. Diss., Göttingen 1956

16. Haubeil, J.
Bemerkungen zur Technik der Amalgamfüllungen
Zahnärztl. Welt, 8, 588-590, (1953)

17. Helbig, K.
Bemerkungen zu den Grundregeln für das Füllen der Zähne mit Amalgam nach Adolph Witzel
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 14, 844, (1959)

18. Ilg, V.K.
Über das Stopfen des Amalgams
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 8, 259-263, (1953)

19. Ilg, V.K.
Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame I
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 6, 127-136, (1951)

20. Ilg, V.K.
Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame II
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 6, 189-202, (1951)

21. Ilg, V.K.
Werkstoff- und Verarbeitungsnormen zahnärztlicher Werkstoffe, aufgestellt durch das National Bureau of Standards
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 4, 744, (1949)

22. Kiss, H.
Mikrohärtemessungen an Edelamalgamen
Med. Diss., Münster 1961

23. Kropp, R.
Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt zahnärztlicher Praxen
Zahnärztl. Mitt., 54, 1110-1113, (1964)

24. Lichtenberg, H.
Die approximale Amalgamfüllung
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 5, 693-703, (1950)

25. Loebich, O.
Mörser oder Mischmaschinen
Dtsch. zahnärztl. Wschr., 36, 1170, (1933)

26. Loebich, O.
Über den Randschluss der Amalgamfüllung
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 6, 1194-1198, (1951)

27. Loebich, O. und Nowack, L.
Die metallographischen Untersuchungen von Amalgamen
Dtsch. zahnärztl. Wschr., 32, 463, (1929)

28. Overdiek, H.F.
Fehlerhafte Amalgamfüllungen und ihre Ursachen
Zahnärztl. Rdsch., 71, 333-337, (1962)

29. Phillips, R.W.
Research on dental amalgams and its application in practice
J. Amer. Dent. Ass., 54, 315, (1957)

30. Phillips, R.W. und Mc Donald, R.E.
Clinical observations on a contracting Amalgam-alloy
J. Dent. Res., 29, 482-485, (1950)

31. Rebel, H.H.
Ist die Verwendung des Amalgams als Füllungswerkstoff noch berechtigt
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 10, 1588-1594, (1955)

32. Rebel, H.H.
Konservierende Zahnheilkunde
München 1950

33. Rheinwald, U.
Über das edle Verhalten des Amalgams
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 10, 1609, (1955)

34. Remy, H.
Grundriß der anorganischen Chemie
Leipzig 1956, S. 236

35. Riethe, P. und Schade, U.
Untersuchungen über die Schneidfähigkeit (Carving) von Amalgamen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 16, 1372, (1961)

36. Roper, L.H.
Restaurations with amalgams in the army: an evolution und analysis
J. Amer. Dent. Ass., 34, 450, (1947)

37. Schmitt, G.
Über das Gefüge von Amalgamfüllungen verschiedener Zusammensetzung und Herstellung
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 15, 747, (1960)

38. Schoch, P. und Loebich, O.
Die Porosität unserer Amalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 10, 790, (1955)

39. Schoonover, I.C., Souder, W. und Beall, I.R.
Excessive expansion of dental amalgams
J. Amer. Dent. Ass.,29, 1825, (1942)

40. Seitz, N.
Über das elektrochemische Verhalten von Silberamalgamen gegen verschiedene Elektrolyte
Med. Diss., Frankfurt 1960

41. Skinner, E.W.
The Science of Dental Materials
Philadelphia und London 1954

42. Starkloff, E.
Zur Frage der Alterung der Amalgamfeilung
Zahnärztl. Welt, 5, 562, (1950)

43. Staufenberg, E.
Über Röntgenuntersuchungen an Füllungen der Klasse II nach Black
Med. Diss., Marburg 1939

44. Wagner, E.
Beitrag zur Klärung des Korrosionsverhaltens der Silber-Zinn-Amalgame
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 17, 99-106, (1962)

45. Weikart, P.
Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffkunde
München 1950

46. Winterhager, H.
Neuere Erkenntnisse der Vorgänge bei der Erhärtung von Dentalamalgamen
Dtsch. zahnärztl. Zschr., 10, 1603, (1955)

47. Witzel, A.
Das Füllen der Zähne mit Amalgam
Berlin 1899

X. Meßwerte

Härteprüfungen mit dem Durimet

Nr.	Lage der Füllung im Zahn	Liegedauer im Munde	Durchschnittshärte in kg/mm^2
1.	central - F_1	1 Jahr u. 4 Mon.	57,60
2.	F_2	3 Tage	116,55
4.	F_2	9 Jahre u. 5 Mon.	145,17
6.	F_3	5 Mon.	99,46
7.	F_2	7 Jahre u. 8 Mon.	120,25
8.	F_2	14 Tage	120,46
9.	F_2	3 Jahre u. 1 Mon.	137,49
10.	F_2	3 Jahre	123,91
11.	cerv. - F_1	7 Mon.	132,90
13.	F_2	8 Stund.	118,31
14.	F_2	2 Jahre u. 1 Mon.	129,95
15.	F_2	5 Mon.	128,13
16.	central - F_1	5 Mon.	142,79
17.	central - F_1	12 Jahre u. 4 Mon.	143,82
18.	central - F_1	5 Mon.	140,40
19.	F_2	3 Jahre u. 10 Mon.	128,59
20.	F_2	4 Jahre u. 8 Mon.	113,79
21.	F_3	6 Jahre u. 6 Mon.	120,29
22.	F_2	11 Jahre u. 4 Mon.	57,12
23.	central - F_1	1 Jahr u. 11 Mon.	123,02
24.	F_2	4 Jahre	171,70
26.	F_3	5 Jahre u. 9 Mon.	137,27
28.	central - F_1	8 Mon.	141,46
29.	F_2	1 Jahr u. 9 Mon.	106,76
30.	F_2	11 Jahre u. 8 Mon.	81,50
32.	F_2	2 Tage	67,58
33.	F_2	9 Mon.	147,61
34.	central - F_1	1 Jahr u. 4 Mon.	136,40
35.	central - F_1	3 Jahre	74,93
36.	central - F_1	2 Jahre u. 4 Mon.	105,50

Nr.	Lage der Füllung im Zahn		Liegedauer im Munde	Durchschnittshärte in kg/mm^2
38.		F_2	3 Jahre u. 5 Mon.	130,07
39.	central -	F_1	2 Jahre u. 8 Mon.	132,41
40.		F_2	1 Mon.	132,75
41.		F_2	1 Jahr u. 3 Mon.	150,04
42.		F_2	1 Jahr	120,07
43.		F_2	2 Jahre	138,13
44.		F_2	6 Mon.	137,92
45.		F_3	8 Mon.	126,97
46.	central -	F_1	4 Jahre u. 11 Mon.	75,02
47.	bucc. -	F_1	3 Mon.	130,32
48.		F_2	9 Jahre u. 11 Mon.	42,43
49.		F_2	2 Jahre u. 8 Mon.	144,52
50.		F_2	8 Jahre	126,74
51.		F_2	14 Tage	126,61
52.		F_2	4 Jahre u. 8 Mon.	136,03
53.		F_2	6 Jahre u. 7 Mon.	100,82
56.	central -	F_1	3 Mon.	134,47
58.		F_2	2 Jahre u. 4 Mon.	132,23
59.		F_2	2 Jahre u. 4 Mon.	118,20
60.		F_2	7 Tage	94,02
61.		F_3	3 Jahre u. 8 Mon.	130,11
63.		F_3	4 Mon.	139,18
64.	bucc. -	F_1	2 Jahre u. 6 Mon.	106,45
66.	cerv. -	F_1	3 Jahre	63,84
67.	pal. -	F_1	6 Mon.	121,01
68.		F_2	3 Jahre u. 11 Mon.	146,48
69.	central -	F_1	1 Jahr u. 7 Mon.	112,80
71.		F_1	17 Tage	129,43
72.	central -	F_1	8 Jahre	130,01
73.		F_2	1 Jahr u. 5 Mon.	146,95
74.	cerv. -	F_1	11 Mon.	157,13
75.		F_3	1 Jahr u. 9 Mon.	110,17
76.		F_2	5 Jahre u. 3 Mon.	140,90
77.		F_2	1 Mon.	125,13
78.		F_2	4 Jahre u. 9 Mon.	134,91
79.		F_3	4 Jahre u. 9 Mon.	123,35

Nr.	Lage der Füllung im Zahn	Liegedauer im Munde	Durchschnittshärte in kg/mm^2
80.	F_2	1 Jahr u. 4 Mon.	148,88
81.	central - F_1	3 Mon.	164,44
82.	pal. - F_1	10 Jahre u. 9 Mon.	51,62
84.	F_2	9 Tage	123,54
86.	F_2	6 Jahre u. 10 Mon.	150,02
87.	F_3	4 Mon.	129,16
88.	F_2	3 Mon.	125,12
89.	central - F_1	2 Jahre u. 2 Mon.	147,96
90.	bucc. - F_1	3 Jahre u. 8 Mon.	136,69
91.	central - F_1	9 Mon.	151,63
93.	central - F_1	12 Jahre u. 1 Mon.	65,33
94.	F_2	3 Jahre u. 8 Mon.	129,26
95.	F_2	1 Jahr u. 8 Mon.	132,11
96.	pal. - F_1	3 Tage	116,74
97.	central - F_1	3 Jahre u. 3 Mon.	147,23
101.	central - F_1	8 Jahre u. 8 Mon.	166,50
102.	F_2	2 Jahre u. 9 Mon.	133,17
103.	F_2	11 Tage	128,61
104.	F_2	2 Jahre u. 10 Mon.	120,65
105.	F_2	6 Mon.	143,41
107.	F_2	8 Jahre u. 3 Mon.	71,94
110.	F_2	8 Jahre u. 8 Mon.	113,63
111.	F_2	3 Mon.	134,81
113.	F_2	5 Jahre u. 3 Mon.	130,22
114.	F_2	1 Jahr u. 4 Mon.	120,22
116.	cerv. - F_1	12 Jahre u. 5 Mon.	80,27
117.	F_2	6 Mon.	127,01
119.	F_2	2 Jahre u. 5 Mon.	120,32
120.	central - F_1	6 Jahre u. 11 Mon.	137,32
121.	F_2	6 Jahre u. 11 Mon.	114,67
122.	F_2	1 Jahr u. 1 Mon.	134,81
123.	F_2	11 Mon.	133,40
124.	F_2	4 Jahre	133,61
125.	central - F_1	4 Jahre u. 1 Mon.	152,60

Härteprüfungen mit dem D I A T E S T O R

Nr.	Lage der Füllung im Zahn	Liegedauer im Munde	Durchschnittshärten in kg/mm^2
1.	central - F_1	1 Jahr u. 4 Mon.	31,0
2.	F_2	3 Tage	78,4
4.	F_2	9 Jahre u. 5 Mon.	76,6
6.	F_3	5 Mon.	63,2
7.	F_2	7 Jahre u. 8 Mon.	76,3
8.	F_2	14 Tage	68,3
9.	F_2	3 Jahre u. 1 Mon.	70,5
10.	F_2	3 Jahre	76,1
11.	cerv. - F_1	7 Mon.	77,1
13.	F_2	8 Stund.	68,1
14.	F_2	2 Jahre u. 1 Mon.	80,5
15.	F_2	5 Mon.	73,5
16.	central - F_1	5 Mon.	73,1
17.	central - F_1	12 Jahre u. 4 Mon.	73,1
18.	central - F_1	5 Mon.	84,7
19.	F_2	3 Jahre u. 10 Mon.	82,7
20.	F_2	4 Jahre u. 8 Mon.	76,7
21a.	F_2	6 Jahre u. 6 Mon.	68,6
21b.	F_2	11 Jahre u. 8 Mon.	41,5
22.	F_2	11 Jahre u. 4 Mon.	33,8
23.	bucc. F_1	1 Jahr u. 11 Mon.	79,9
24.	F_2	4 Jahre	87,0
26.	F_3	5 Jahre u. 9 Mon.	80,3
28.	central - F_1	8 Mon.	72,7
29.	F_2	1 Jahr u. 9 Mon.	72,9
30.	central - F_1	11 Jahre u. 8 Mon.	41,4
33.	F_2	9 Mon.	79,4
34.	central - F_1	1 Jahr u. 4 Mon.	76,9
35.	central - F_1	3 Jahre	33,6
36.	central - F_1	2 Jahre u. 4 Mon.	36,2
38.	F_2	3 Jahre u. 5 Mon.	83,0
39.	central - F_1	2 Jahre u. 8 Mon.	75,3

Nr.	Lage der Füllung im Zahn		Liegedauer im Munde	Durchschnittshärten in kg/mm^2
40.		F_2	1 Mon.	77,5
41.	bucc. -	F_1	1 Jahr u. 3 Mon.	73,0
42.		F_2	1 Jahr	76,3
43.		F_2	2 Jahre	74,1
44.		F_2	6 Mon.	92,0
45.		F_3	8 Mon.	90,1
46.	central -	F_1	4 Jahre u. 11 Mon.	33,9
48.		F_2	9 Jahre u. 11 Mon.	27,2
49.		F_2	2 Jahre u. 8 Mon.	64,8
50.		F_2	8 Jahre	79,3
51.		F_2	14 Tage	87,4
52.		F_2	4 Jahre u. 8 Mon.	71,4
53a.		F_2	6 Jahre u. 7 Mon.	32,3
53b.		F_1	4 Mon.	70,0
56.	central -	F_1	3 Mon.	67,3
58.		F_2	2 Jahre u. 4 Mon.	75,7
59.		F_2	2 Jahre u. 4 Mon.	71,8
60.		F_2	7 Tage	80,1
61.		F_3	3 Jahre u. 8 Mon.	77,3
63.		F_3	4 Mon.	87,4
64.	bucc.	F_1	2 Jahre u. 6 Mon.	79,6
66.	cerv.	F_1	3 Jahre	41,3
67.	pal.	F_1	6 Mon.	69,7
68.		F_2	3 Jahre u. 11 Mon.	80,3
69.	central -	F_1	1 Jahr u. 7 Mon.	88,9
71.		F_2	17 Tage	81,8
72.	central -	F_1	8 Jahre	82,3
73.		F_2	1 Jahr u. 3 Mon.	76,8
74.	cerv. -	F_1	11 Mon.	90,0
75.		F_3	1 Jahr u. 9 Mon.	73,5
76.		F_2	5 Jahre u. 3 Mon.	80,8
77.		F_2	1 Mon.	84,5
78.		F_2	4 Jahre u. 9 Mon.	40,0

Nr.	Lage der Füllung im Zahn		Liegedauer im Munde	Durchschnittshärten in kg/mm^2
79.		F_3	4 Jahre u. 9 Mon.	77,6
80.		F_2	1 Jahr u. 4 Mon.	82,7
81.	central -	F_1	9 Mon.	80,1
82.	pal. -	F_1	10 Jahre u. 9 Mon.	37,1
84.		F_2	9 Tage	78,4
86.		F_2	6 Jahre u. 10 Mon.	73,9
87.		F_3	4 Mon.	86,7
88.		F_2	3 Mon.	89,2
89.	central -	F_1	2 Jahre u. 2 Mon.	88,5
90.	bucc. -	F_1	3 Jahre u. 8 Mon.	84,9
91.	central -	F_1	9 Mon.	91,0
93.	central -	F_1	12 Jahre u. 1 Mon.	28,7
94.		F_2	3 Jahre u. 8 Mon.	80,4
95.		F_2	1 Jahr u. 8 Mon.	79,8
96.	pal. -	F_1	3 Tage	84,9
97.	central -	F_1	3 Jahre u. 3 Mon.	89,8
101.	central -	F_1	8 Jahre u. 8 Mon.	79,1
102.		F_2	2 Jahre u. 9 Mon.	66,9
103.		F_2	11 Tage	80,8
104.		F_2	2 Jahre u. 10 Mon.	81,9
105.		F_2	6 Mon.	87,2
107.		F_2	8 Jahre u. 3 Mon.	35,2
110.		F_2	8 Jahre u. 8 Mon.	83,9
111.		F_2	3 Mon.	88,5
113.		F_2	5 Jahre u. 3 Mon.	70,7
114.		F_2	1 Jahr u. 4 Mon.	63,8
116.	cerv. -	F_1	12 Jahre u. 5 Mon.	37,2
117.		F_2	6 Mon.	82,6
119.		F_2	2 Jahre u. 5 Mon.	57,2
120.	central -	F_1	6 Jahre u. 11 Mon.	76,9
121.		F_2	6 Jahre u. 11 Mon.	71,0
122.		F_2	1 Jahr u. 1 Mon.	85,4
123.		F_2	11 Mon.	89,2
124.		F_2	4 Jahre	74,2

Mein Dank gilt Herrn Priv.-Doz. OA Dr. K. Eichner für die Überlassung des Themas und für alle Hinweise, die er mir auf diesem Gebiet geben konnte.

Daneben danke ich den Herren Dr. E. Wagner und Dr. R. Kropp von der Firma Degussa für ihre Unterstützung bei der Herstellung der Photographien und für die Möglichkeit von Härteprüfungen in den Labors der Degussa/ Pforzheim. Der Firma Kulzer danke ich für die Überlassung des Kunststoffes zum Fixieren der amalgamgefüllten Zähne

Ferner danke ich meinem Chef, Herrn Dr. W. Müller, für die Hilfe beim Sammeln des Untersuchungsmaterials.

Lebenslauf

Am 3. Mai 1937 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Kurt Winkler und seiner Ehefrau Herta, geb. Kirsch, in Gera geboren.

In meiner Heimatstadt besuchte ich von 1943 - 1951 die Grundschule. Dort beendete ich auch die Oberschule mit der Reifeprüfung am 1. Juli 1956.

Danach siedelte ich nach West-Berlin über und nahm am Sonderlehrgang für Abiturienten an der Freiherr-vom-Stein-Schule in Berlin-Spandau teil. Am 2. Juli 1957 wurde mir dort die Anerkennung meines Abiturs ausgesprochen. Seit dem Wintersemester 1957/58 studierte ich an der Freien Universität Berlin Zahnheilkunde und legte im Sommer 1963 das zahnärztliche Staatsexamen ab. Die Approbation als Zahnarzt erhielt ich am 2. August 1963.

Zur Zeit habe ich gerade meine zwei Pflichtassistentenjahre in der freien Praxis absolviert.